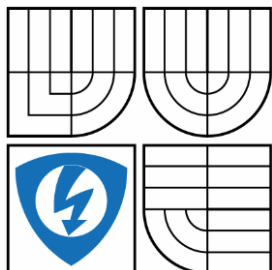


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ELEKTROZAPOJENÍ A ŘÍZENÍ LISU S TOPNÝMI DESKAMI

ELECTRIC WIRING AND CONTROL OF THE HYDRAULIC PRESS WITH HEATING PLATES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

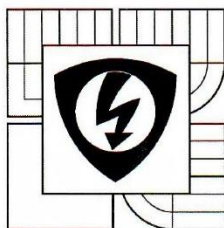
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin Ševčík

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Jan Pásek, CSc.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Martin Ševčík
Ročník: 3

ID: 161251
Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Elektrozapojení a řízení hydraulického lisu s topnými deskami

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Koncepční návrh řídicího systému pro řízení hydraulického lisu pomocí systému TIA Portal, Siemens.
2. Specifikace HW vybavení a koncepce SW řešení pro řízení a ovládání lisu (PLC, HMI).
3. Návrh a řešení PID regulace vyhřívání lisu.
4. Návrh elektrických zapojení s ohledem na požadavky procesu a bezpečnostních norem.
5. Ověření funkčnosti navrženého řídicího systému na reálném nebo simulovaném zařízení (lisu).

DOPORUČENÁ LITERATURA:

1. Kuchař, P.: Quo vadis, operátorské panely
2. Siemens Simatic PLC S7-1200
(www.abisuite.org/siemens-simatic-plc-s7-1200-siemens-plc-controller/)
3. Siemens TIA Portal verze v13

Termín zadání: 8. 2. 2016

Termín odevzdání: 23.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Jan Pásek, CSc.

Konzultanti bakalářské práce: Ing. Jaroslav Hrubý, CSc.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Obsahem práce je elektrozapojení a řízení hydraulického lisu s topnými deskami. V práci je provedena specifikace řídicího systému a specifikace softwaru pro daný typ lisu. Dále je v práci proveden návrh řešení regulace vyhřívání desek, návrh elektrického zapojení pro bezpečnou práci lisu a ověření funkčnosti navrženého řídicího systému.

Klíčová slova

Lis s topnými deskami, PID regulace topných desek, elektrické zapojení

Abstract

This work contains elektrowiring and control of hydraulic press with heating plates. The work is carried specification management system and software specifications for the type of work is lisu. The work also made a proposal for the control of heating panels, design of electrical wiring for the safe operation of the press and verification of the proposed control system.

Key words

Press with heating plates, PID control heating plates, electric wiring

Bibliografická citace mé práce:

ŠEVČÍK, M. *Elektrozapojení a řízení hydraulického lisu s topnými deskami*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. XY s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pásek, CSc..

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Elektrozapojení a řízení lisu s topnými deskami jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **23. května 2016**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Pásekovi, CSc. za metodickou a odbornou pomoc a cenné rady při zpracování mé diplomové práce a dále děkuji všem, kteří se mnou práci konzultovali, zejména doc. Ing. Petru Blahovi, Ph. D., doc. Ing. Arnoštu Ševčíkovi, CSc., Ing. Jaroslavu Hrubému, CSc. a dalším.

V Brně dne: **23. května 2016**

.....
podpis autora

Obsah

Úvod.....	8
1 Koncepční návrh řídicího systému pro řízení hydraulického lisu pomocí systému TIA portal, Siemens	9
1.1 Popis hydraulického lisu.....	9
1.2 Požadavky na el. ovládání (EO) a návaznosti na funkce hydr. lisu.....	10
1.3 Bezpečnost lisu	11
1.4 Komponenty pro řízení a ovládání lisu.....	12
2 Specifikace řídicího systému	13
2.1 Specifikace HW vybavení - PLC.....	13
2.1.1 Dělení PLC podle konstrukce:	13
2.1.2 PLC SIMATIC S7-1200.....	14
2.1.3 Specifikace HW konfigurace S7-1200	14
2.2 Panel SIMATIC HMI	16
2.2.1 Panel SIMATIC HMI Basic	16
2.2.2 KTP600 MONO PN (6AV6647-0AB11-3AX0).....	16
2.2.3 Programování panelů.....	17
3 Specifikace SW	18
3.1 Řídicí program PLC.....	18
3.2 Přehled úkonů při řízení lisu.....	18
3.3 Programování v TIA portalu.....	19
3.3.1 Programovací jazyky	19
3.3.2 Organizace programových bloků	19
3.3.3 Řešení řídicího programu	20
3.4 Aplikace pro ovládání a vizualizaci lisu.....	23
3.4.1 Program pro ovládací panel.....	23
3.4.2 Hierarchie oken	23
3.5 Popis obrazovek.....	24
4 Návrh a řešení PID regulace vyhřívání lisu.....	27
4.1 Regulátory	27
4.2 PID regulátor	27

4.3	Identifikace regulované soustavy	29
4.4	Návrh PID regulátoru	33
4.5	PID regulátor v program TIA portál	34
4.5.1	PID_3Step	35
4.5.2	PID_Compact	36
4.5.3	Nastavení PID regulátoru	38
5	Návrh elektrického zapojení s ohledem na požadavky procesu a bezpečnostních norem.....	40
5.1	Požadavky procesu	40
5.2	Hlavní elektrické komponenty.....	40
5.2.1	Motor	40
5.2.2	Motorový spouštěč - třífázový	41
5.2.3	Napájecí zdroj	41
5.2.4	Stykače	42
5.2.5	Snímače	42
5.3	Bezpečnostní prvky	43
5.3.1	Optická zábrana.....	45
5.3.2	Bezpečnostní relé (Modul nouzového zastavení).....	46
5.4	Návrh elektrického zapojení	47
6	Ověření funkčnosti navrženého řídicího systému na reálném modelu nebo simulovaném zařízení (lisu)	48
6.1	Simulovaný systém.....	48
	Závěr.....	49
	Seznam použitých zdrojů.....	50
	Seznam použitých obrázků.....	53
	Seznam použitých tabulek.....	54
	Seznam použitých zkratk.....	54
	Seznam příloh	54

Úvod

Technologie lisování, resp. tváření je stará téměř jako lidstvo samo. Tváření materiálu působením tlakové síly je vysoce efektivní oproti jiným technologiím, jako je například obrábění.

Tváření mechanickými lisami využívajícími energii setrvačných hmot je vysoce produktivní a je úspěšně využíváno při hromadné výrobě zejména kovových dílů, kde převažují operace ražení, jednoduchých ohybů a střihů. Tváření hydraulickými lisami, které využívají přenosu tlaků v kapalinách dle Pascalova zákona, se uplatňuje tam, kde je požadováno trvalé působení síly po delší dráze např. hluboké tažení materiálů nebo působení síly po delší dobu (vulkanizace, vytvrzování, spénání, apod.).

Tváření se v průběhu let stále rozvíjí a zejména v posledních letech reaguje na vývoj nových specifických materiálů. Řada materiálů dnes vyžaduje velmi exaktní řízení parametrů lisovacího procesu (síly, rychlostí, časů a teplot) k jejichž řízení, monitoringu a regulaci jsou vyvíjeny stále sofistikovanější řídicí systémy.

Vzhledem k velmi dynamickému rozvoji automobilového, ale i leteckého průmyslu, kde je dodržení technologických požadavků nutností nejen z hlediska kvality, ale i bezpečnosti, je zcela nepochybné, že tento trend bude stále silněji ovlivňovat výrobu nových tvářecích strojů.

Tato bakalářská práce se věnuje návrhu řídicího systému pro řízení hydraulického lisu s topnými deskami. Používání vytápěných desek lisu vychází především z potřeby lisovat stálým tlakem elastické materiály, které za teploty okolo 20°C nejsou dobře tvarovatelné a k trvalé změně jejich vlastností a tvaru jsou třeba vyšší teploty. Takových materiálů je celá řada a jako příklad můžeme uvést pryže, plastické materiály, ale i různé keramické hmoty, například pro výrobu brusných kotoučů.

V práci je provedena specifikace hardwarového vybavení řídicího systému, což zahrnuje výběr vhodného programovatelného logického automatu (dále jen jako PLC) s použitím prvků od firmy SIEMENS řady S7-1200 a výběr dotykového panelu HMI pro nastavování parametrů lisovacího procesu a jeho vizualizaci. Navazující kapitolou je koncepce softwarového řešení řízení lisu, která obsahuje řešení řídicího programu jak pro PLC, tak i pro HMI. Dále je popsán kompletní návrh PID regulátoru pro regulaci teploty topných desek. Návrh se skládá z identifikace soustavy, kterou tvoří topná deska, výpočtu PID regulátoru metodou optimálního modulu, z rozboru možností nasazení bloku PID regulátoru v PLC k velmi přesné regulaci teploty, z výběru vhodného bloku PID regulace a z nastavení jeho parametrů. Součástí práce je také přehled hlavních elektrických komponent a návrh elektrického zapojení všech elektrických prvků potřebných pro řízení a regulaci lisu s topnými deskami s ohledem na požadavky lisovacího procesu a bezpečnostních norem. Toto zapojení je zpracováno v příloze č.2. Poslední kapitolou je ověření funkčnosti navrženého algoritmu pro řízení na simulovaném zařízení.

1 Koncepční návrh řídicího systému pro řízení hydraulického lisu pomocí systému TIA portal, Siemens

1.1 Popis hydraulického lisu

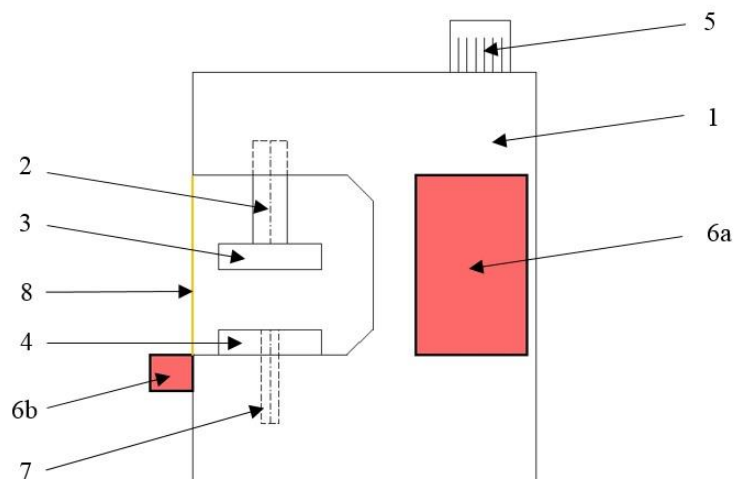
Hydraulický lis je stroj, určený pro tlakové zpracování kovových a jiných materiálů za studena, nebo s využitím předehtřivaných desek pro tváření materiálů.

Síla pro tváření je vyvozována hydraulickými válci, které jsou umístěny v rámu lisu a působí proti stolu, na kterém je umístěna forma a v ní tvářený materiál. Velikost lisovací síly a rychlost lisování je závislá na tlaku a množství pracovní kapaliny, která je dodávána k hydraulickým válcům z hydraulického agregátu, který je vybaven řadou regulačních prvků, kterými lze obě základní veličiny, tedy sílu a tlak, spolehlivě regulovat. Potřebná velikost lisovací síly a rychlost lisování závisí zejména na poloze beranu, který je spojen s hydraulickými válci a jeho poloze vzhledem ke stolu lisu.

Všechny základní funkce, jejich vzájemná posloupnost, signalizace všech stavů při lisování a hlídání bezpečnosti obsluhujících operátorů má na starosti elektrické ovládání lisu. Podle složitosti a také druhu stroje může být jeho ovládání rozděleno do tří skupin:

- Jednoduché – zabezpečuje jen spuštění lisu a chod beranu nahoru a dolů, obvykle s konstantní rychlostí a silou. Případně zajišťuje nějakou elementární ochranu obsluhy lisu.
- Složitě – kromě základních funkcí beranu umožňuje i regulaci rychlosti a lisovací síly, nastavení polohy beranu v průběhu práce lisu, případné vyhřívání lisovaného materiálu, ovládání spodního vyhazovače a ovládání světelných závor pro ochranu pracovního prostoru lisu. Ochrana obsluhy lisu už má komplexní charakter a je součástí ovládání lisu.
- Automatické – obvykle obsahuje všechny prvky složitěho ovládání seřazené do pracovního programu tak, aby mohly být zahrnuty do automatického pracovního cyklu, což umožňuje nepřetržitý automatický provoz lisu a často bez nutnosti obsluhy. Obsluha je chráněna tak, že její zásah do pracovního prostoru je za provozu zcela vyloučen.

Příklad hydraulického lisu:



Obr. 1.1-1: Hydraulický lis

1 – rám, 2 – hydraulický válec, 3 – beran, 4 – stůl, 5 – hydraulický agregát, 6 – elektrické ovládání, 7 – spodní vyhazovač, 8 – světelná zábrana

1.2 Požadavky na el. ovládání (EO) a návaznosti na funkce hydr. lisu

Hydraulický lis musí spolehlivě plnit funkce, které jsou určeny požadavky zákazníka a současně umožnit bezpečný provoz. K obecným funkcím lisu patří:

- Přiblížení beranu ke stolu velkou rychlostí a následné lisování malou rychlostí, jejíž velikost odpovídá lisovanému materiálu. EO zapíná elektromotor pro pohon hydrogenerátoru, který dodává tlakovou kapalinu k hydraulickým válcům. Přepínáním elektrohydraulických ventilů dochází k přívodu kapaliny do jedné nebo druhé části hydraulických válců tak, aby došlo ke změně rychlosti pohybu beranu.
- Zpětný chod beranu od stolu do výchozí polohy. Po uplynutí doby potřebné pro lisování přepne elektrické ovládání ventilů pro přívod kapaliny do prostoru pod pístem hydraulického válce a ten vrátí beran do výchozí polohy v horní části rámu hydraulického lisu.
- Práce spodního vyhazovače, pokud je jím hydraulický lis vybaven. Vyhazovač je umístěn ve stolu lisu a je vybaven nejméně jedním hydraulickým válcem. Jeho úkolem je vyhodit z formy výlisek po jeho vyrobení. K vyhození výlisku dochází v době, kdy se beran vrací do výchozí polohy a je hlavním úkolem EO, aby otevřel ventil pro přívod kapaliny k vysunutí hydraulického válce vyhazovače v určitém časovém posunu po ukončení lisování a po vyhození výlisku z formy ihned vrátit zpět do výchozí polohy.

- Práce s topnými deskami neovlivní základní funkce hydraulického lisu v průběhu lisování. Z hlediska správné funkce EO je však potřeba zohlednit časové prodlevy při změně teploty desek a zachovat poslušnost jednotlivých činností. Jsou to zejména:
 - Čas potřebný pro nahřátí lisovacích desek a ustálení jejich teploty, dále čas pro ohřev lisovaného materiálu, který je rozdílný podle druhu materiálu. Tento čas lze zkrátit předehříváním materiálu ještě před vložením do formy.
 - Po ustálení teploty lze teprve spustit dříve popsané funkce hydraulického lisu.
 - Pokud je vyhříván i spodní vyhazovač, jeho funkce může být obvykle spuštěna až v časovém odstupu, který je nutný pro částečné vychladnutí výlisku.
- Práce se světelnou závorou pracovního prostoru, umožňující vstup do pracovního prostoru až tehdy, kdy všechny činnosti lisu jsou zastaveny. Úkolem EO je:
 - Při narušení světelného paprsku zastavit všechny činnosti lisu.
 - Umožnit vstup do pracovního prostoru jen na dobu potřebnou pro vložení materiálu do formy a vytažení výlisku z formy.
- Nouzové zastavení hydraulického lisu. Toto zastavení činnosti lisu musí být umožněno v těch případech, kdy je to nezbytné z hlediska bezpečnosti obsluhy nebo zabránění havárie částí lisu. “STOP” tlačítkem musí být bezpodmínečně vybavena elektrická část lisu.

Hydraulický lis může být vybaven také řadou doplňujících, příp. Navazujících zařízení, která také ovlivňují stavbu jeho EO. Patří k nim zejména:

- Podávací mechanismus, vyžadující zvláště při automatizovaném ovládnutí lisu, dokonalou časovou synchronizaci funkcí: podávání – lisování – vyhazování
- Automatizované linky, tedy provozy, kde pracuje několik strojů, které na sebe vzájemně navazují. Výlisek může být předehříván v peci, odtud dopraven do formy v hydraulickém lisu a z lisu roboticky transportován k dalšímu stroji, kde je dokončen. Také zde se uplatňuje automatické řízení a je vyžadována dokonalá časová návaznost jednotlivých operací.

1.3 Bezpečnost lisu

Bezpečnost lisu by se dala rozdělit do tří úrovní:

- a) Bezpečnost na mechanické úrovni
Zde patří oddělení pohyblivých částí, u kterých by mohlo dojít k úrazu, od okolního prostředí za pomoci krytů.
- b) Bezpečnost na úrovni elektrického vybavení
Zde patří především zabezpečení lisu tak, aby nedošlo k úrazu obsluhy nebo ke zničení stroje. Nejčastěji se k tomuto účelu využívají bezpečnostní relé, optické brány a jiné snímače.

c) Bezpečnost na softwarové úrovni

Tato část bezpečnosti se řeší v samotném programu a je realizována řadou podmínek, které blokují spouštění jednotlivých výstupů PLC. Podmínky mohou být dvojího typu, jedny přicházejí na vstup PLC z vnějších ochran (např. signál z bezpečnostního relé) a druhé sledují chyby přímo v programu (např. přetečení nastavené hodnoty)

I když první úroveň je velmi důležitá, tak není náplní této práce, a proto se o ní již více nebudu zmiňovat. Druhá a třetí úroveň je však přímo jedním z bodů zadání bakalářské práce a v další kapitole budou tyto způsoby zabezpečení podrobněji popsány.

1.4 Komponenty pro řízení a ovládání lisu

Řídicí systém

Pro řízení lisu byl zvolen Programovatelný logický automat řady S7-1200 (PLC) od firmy Siemens. PLC se dnes používá pro řízení všech typů automatických procesů v mnoha průmyslových odvětvích. Hlavním důvodem je jeho univerzálnost, protože do programovatelné paměti lze nahrát program pro řízení jakéhokoli procesu. Dalšími výhodami je jeho kompaktnost a rošititelnost. K hlavní řídicí jednotce lze totiž připojit nejrůznější signálové, komunikační nebo speciální moduly, díky kterým lze PLC použít i ve složitých aplikacích.

Ovládací a vizualizační systém

K ovládání lisu slouží tlačítka a přepínače na rozvaděči, ale k nastavování hodnot teploty topných desek a k vizualizaci procesu, resp. ke kontrole aktuálních hodnot teploty a tlaku se využívá dotykový zobrazovací panel tzv. HMI (Human Machine Interface). Pro tuto aplikaci byl vybrán panel SIMATIC HMI řady KTP600 BASIC od firmy Siemens. Panel byl vybrán z důvodu dobré kompatibility s řídicím automatem. Další výhodou je, že panel je možno programovat ve WinCC flexible, které spolu s programem STEP7, pro programování PLC, tvoří součást TIA portálu. Obě zařízení tak lze naprogramovat přehledně v jednom vývojovém prostředí.

Elektrická zapojení

Zapojení všech elektrických komponent je hlavní náplní této práce. Ve čtvrté kapitole je popsán výběr hlavních prvků, které se nacházejí v rozvaděči a jsou nezbytné pro správný chod lisu. Jejich propojení a rozložení v rozvaděči je navrženo v programu Eplan 5. Jde o software přímo určený k projektování rozsáhlejších elektrických zařízení a k následné tvorbě elektrotechnické dokumentace.

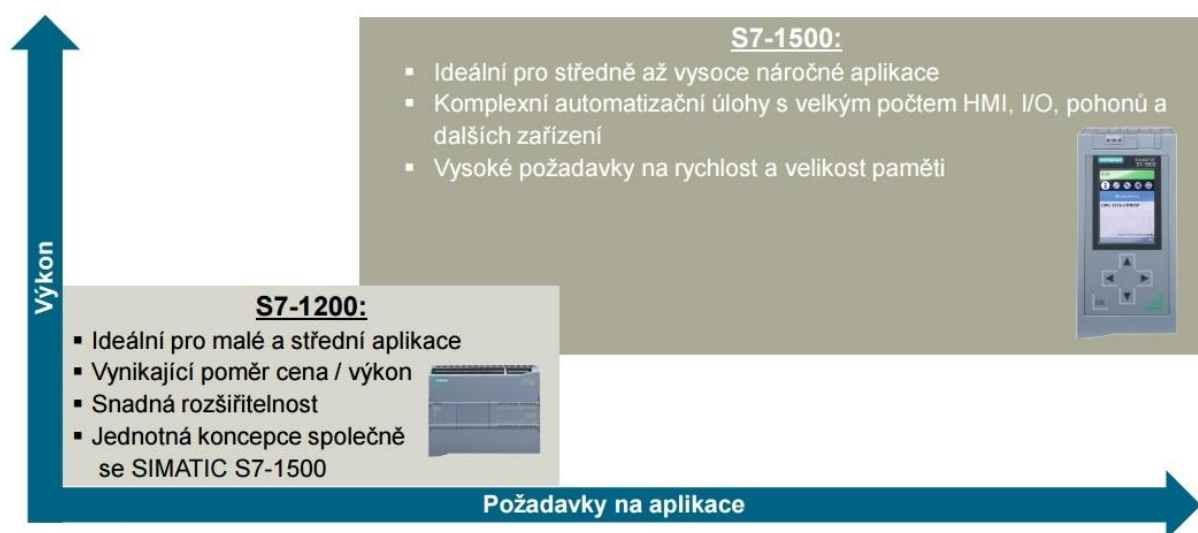
2 Specifikace řídicího systému

2.1 Specifikace HW vybavení - PLC

Programovatelný logický automat (*Programmable Logic Controller*, PLC) je průmyslový počítač používaný k automatizaci. Umožňuje naprogramovat cyklické provádění technologických procesů. Při správném návrhu systému a při použití vhodné komunikační sběrnice umožňuje řízení v reálném čase.

PLC se může skládat z několika částí: zdroje, CPU, karty digitálních vstupů/výstupů (DI/DO), karty analogových vstupů/výstupů (AI/AO) a dalších speciálních modulů (U/I převodníky, modul pro ovládání krokových motorů, signálové karty, paměťové karty, ad.). CPU se skládá z hlavního procesoru, který zpracovává řídicí algoritmus a několik sekundárních, které mu jsou podřízeny. Na kartách a modulech jsou vhodně vyvedeny svorky pro snadné připojení k čidlům a akčním členům v provozu.

PLC se vyznačuje především vysokou spolehlivostí, snadností instalace a relativně nízkou pořizovací cenou [1][2].



Obr. 2.1-1: Zařazení PLC řady S7-1200 [2]

2.1.1 Dělení PLC podle konstrukce:

- Kompaktní

Uvnitř jednoho pouzdra má zdroj, CPU a několik nejčastěji digitálních vstupů a výstupů. Kompaktní PLC mají pouze omezenou rozšiřitelnost.

- Modulární

Každé PLC musí obsahovat zdroj a základní jednotku – CPU. Ta je dále rozšiřitelná o velké množství dalších karet a modulů.

2.1.2 PLC SIMATIC S7-1200

Jde o řídicí automat od německé firmy Siemens. Řada S7-1200 je nástupce starších S7-200 a S7-300. Jde o výkonný a jednoduše ovladatelný systém určený především pro malé a střední aplikace. Všechna zařízení v této řadě se vyznačují společným rozhraním, komunikací a softwarem pro PLC i HMI. PLC obsahuje integrované rozhraní Profinet pro připojení a nahrání programu z PG nebo pro připojení HMI [3].

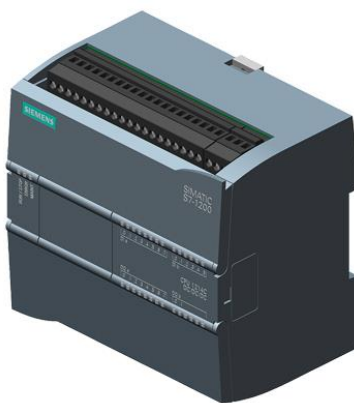
2.1.3 Specifikace HW konfigurace S7-1200

Pro výběr sestavy PLC byla vytvořena tabulka vstupů a výstupů (viz příloha č. 1 - Tabulka vstupů a výstupů), která obsahuje všechny prvky (tlačítka, stykače, ventily, indikace, ad.) připojené k PLC, jenž jsou potřeba pro správné a bezpečné řízení stroje. Podle počtu potřebných svorek a typu signálu poté navrhne konkrétní CPU, karty a moduly. Návrh lze provádět také pomocí konfigurátoru v program TIA portal. Dalším aspektem, které může ovlivnit výběr vhodného modulu je např. rychlost zpracování dat.

- CPU 1214C (6ES7214-1AG40-0XB0)

Byl vybrán standardní kompatní modul CPU z řady 1214C. Jednotlivé řady se od sebe liší počtem vstupních a výstupních kontaktů integrovaných v rámci modulu CPU. Konkrétně tato řada obsahuje 14 x DI 24VDC, 10 x DO 24 VDC a 2 x AI 0 - 10VDC. V této řadě je dále na výběr ze tří CPU, které se odlišují typem napájení (střídavé / stejnosměrné) a typem výstupních kontaktů (tranzistor / relé) [4].

Zvolen byl typ DC/DC/DC se stejnosměrným napájením a s tranzistory na výstupu.



Obr. 2.1-2: Modul CPU 1214C [4]

- ANALOG INPUT SB 1231 (6ES7231-4HA30-0XB0)

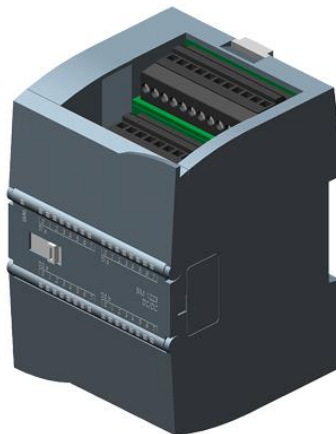
Tento modul obsahuje jeden analogový vstup a umožňuje volbu mezi napěťovou a proudovou smyčkou [$\pm 10\text{V DC}$ (12 BIT RES.) OR $0 - 20\text{ mA}$]. Umisťuje se přímo na přední stranu CPU [5].



Obr. 2.1-3: Karta analogového vstupu SB 1231 [5]

- DIGITAL I/O SM 1223 (6ES7223-1BL32-0XB0)

Protože zbývá připojit ještě šest digitálních vstupů a deset digitálních výstupů, byl zvolen modul DI/DO z řady SM 1223 se šestnácti digitálními vstupy a šestnácti digitálními výstupy [6].



Obr. 2.1-4: Karta digitálních vstupů a výstupů SM 1223 [6]

- SWITCH MODULE CSM 1277 (6GK7277-1AA10-0AA0)

Jako poslední je dobré vybrat switch. Jedná se o modul, ke kterému lze připojit až čtyři, zařízení přes kabel ethernetu. V tomto případě slouží k propojení PLC, panelu HMI a k připojení PG pro nahrání řídicího algoritmu. Ve výsledku není tento modul potřeba, protože PLC a HMI jde propojit jediným kabelem mezi sebou, ale při ladění programu je tento modul nezbytný [7].



Obr. 2.1-5: Modul CSM 1277 – SWITCH [7]

2.2 Panel SIMATIC HMI

V současné době jsou na trhu dvě velké skupiny panelů od firmy Siemens, HMI Basic a HMI Comfort. Obě skupiny nabízejí velké množství panelů pro každou aplikaci v průmyslu.

2.2.1 Panel SIMATIC HMI Basic

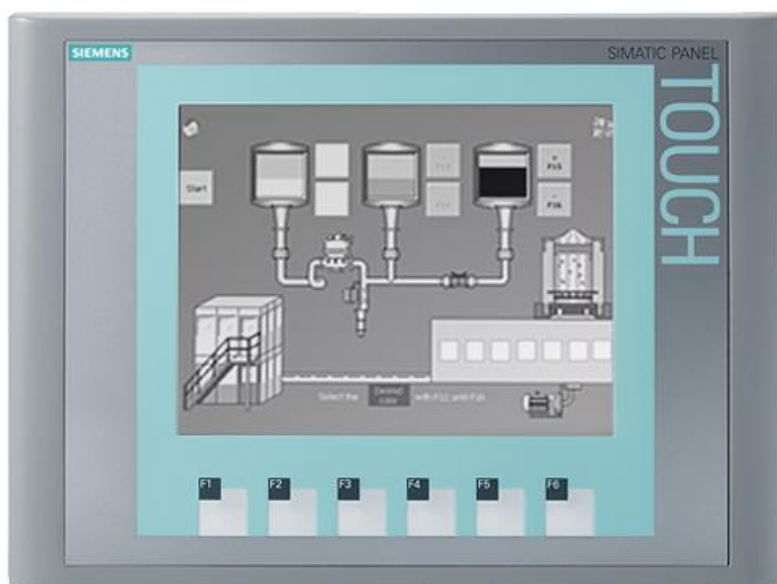
Panely jsou určeny pro aplikace, kde není potřeba příliš detailní vizualizace, ale kde je třeba ovládat zařízení nebo stroj přímo v provozu. Vyznačují se vysokou kvalitou zpracování, bezproblémovou komunikací a spoluprací s řídicími systémy SIMATIC S7-1200. Panely se montují nejčastěji do dveří rozváděčů, jsou proto robustní, spolehlivé a mají dostatečné krytí, proto je lze použít i v těžkých a prašných provozech.

Panel se skládá z dotykové obrazovky o úhlopříčce 4,5“ až 15“, a až deseti plně programovatelných funkčních tlačítek. Všechny panely disponují rozhraním Profinet pro připojení k PLC.

2.2.2 KTP600 MONO PN (6AV6647-0AB11-3AX0)

Byl vybrán panel SIMATIC HMI KTP600 BASIC MONO PN. Kromě dotykové obrazovky o úhlopříčce 6” a rozlišení 320x240 pixelů je k dispozici také šest funkčních programovatelných tlačítek.

Dotykový displej bude sloužit k nastavení teploty ohřevu, případně k úpravě dalších důležitých parametrů. Bude na něm udělána vizualizace desek topného lisu se zobrazenými údaji ze snímačů. Dále může zobrazovat tabulku s historií poruch a grafy s různými závislostmi (např. závislost teploty desky na čase) [8].



Obr. 2.2-1: Panel SIMATIC HMI KTP600 BASIC [8]

2.2.3 Programování panelů

K programování panelů se využívá program WinCC flexible, který se je dnes součástí TIA portálu. S jeho pomocí můžeme realizovat všechny úlohy HMI od jednoduchých ovládacích panelů na stroji, až po SCADA systémy ve velině. Spolu s WinCC je v TIA portálu i program STEP 7, čímž se značně zjednodušuje vytváření komunikace mezi řídicí jednotkou a displejem. Další výhodou tohoto spojení je přehlednost programu a snadné předávání proměných mezi PLC a HMI.

3 Specifikace SW

3.1 Řídící program PLC

Celý program bude řešen v program TIA portál (Totally Integrated Automation), což je softwarové prostředí pro programování a vývoj aplikací pro PLC a decentralizované periférie, projektování panelů HMI, síťových komponent a komunikačních prvků a uvádění pohonů do provozu. Jde o spojení programu STEP7 a WinCC do jediného integrovaného prostředí, což nejen zrychluje, ale také zpřehledňuje vývoj celého projektu, jeho následné ladění a diagnostiku.

3.2 Přehled úkonů při řízení lisu

Start hydraulického agregátu

Hydraulický agregát se zapíná jak manuálně pomocí tzv. trojtlačítka, tak i pomocí PLC, které ovládá pomocný stykač, který přivádí napětí na cívku motorového stykače. Řídící automat po zapnutí dostane signál z pomocných kontaktů motorového stykače, že je agregát v chodu.

Výběr pracovního režimu

Pomocí přepínače se bude volit Automatický nebo Ruční režim.

V Automatickém režimu se budou kroky vykonávat cyklicky za sebou tak, jak jsou nastaveny.

V Ručním režimu (Tipování) bude možné pomocí tlačítek pohybovat beranem lisu.

Ovládání posuvu beranu

K ovládání posuvu slouží jeden třicestný ventil a jeden bezpečnostní ventil.

Třicestný ventil je v klidu držen pružinami zavřený ve středové poloze. Přivedením napětí na první elektromagnet (Y11a) se ventil přestaví do první polohy a tlak hydraulického oleje posouvá beran nahoru. Pokud přivedeme napětí na druhý elektromagnet (Y11b) ventil se přestaví do druhé polohy a olej začne shora tlačit na píst a posouvat tak beran lisu dolů.

Bezpečnostní ventil (Y12) se otevře ve chvíli, kdy se přestaví třicestný ventil do první nebo druhé polohy a stroj není v poruše.

Elektricky ovládaný je také dekompresní ventil (Y30), ten má za úkol snížit tlak v potrubí před přestavením ventilu, aby nedocházelo k velkým rázům natlakované kapaliny a k opotřebením ventilu. Otvírá se na krátkce před přestavením směrového ventilu, ale po jeho přestavení se musí uzavřít.

Signály snímačů

Snímač tlaku nám dává hodnotu 4-20 mA, tu je potřeba výpočtem převést na tlak oleje v paskalech.

Snímače teploty připojené přes převodník přivádějí na analogové vstupy PLC hodnotu 0-10V. Tato hodnota se musí opět výpočtem převést na teplotu ve stupních Celsia. Teplota bude v programu použita jako zpětná vazba při regulaci teploty desek.

Posledním snímačem je indukční snímač horní polohy. Ten přivádí do PLC pouze logickou hodnotu signálu a v programu bude vypínat cívku Y11a, případně může zabráňovat pokusům o její opětovné sepnutí. Dolní poloha není snímačem indikována a v program se rozpozná zvýšením tlaku v potrubí.

V programu je dále potřeba zohlednit všechny zbylé digitální vstupy a výstupy.

Vstupy od mechanických tlačítek budou sloužit v podmínkových řetězcích k ovládání chodu programu a vstupy od pomocných a bezpečnostních kontaktů k vyhodnocování, zda stroj není v poruše.

Výstupy na stykače a na indikace budou spínány na základě stavu vstupů a pomocných proměnných.

3.3 Programování v TIA portalu

3.3.1 Programovací jazyky

- LAD (Ladder Diagram) – standardní grafické programování (žebříkové diagramy)
- FBD (Function Block Diagram) – programování pomocí funkčních bloků
- SCL (Structured Control Language) – strukturované textové programování

Celý program pro řízení lisu je řešen v Ladder diagramu a to především kvůli přehlednému a intuitivnímu způsobu programování.

3.3.2 Organizace programových bloků

Program se pro přehlednost dělí do programových bloků, jejichž obsah spolu logicky souvisí.

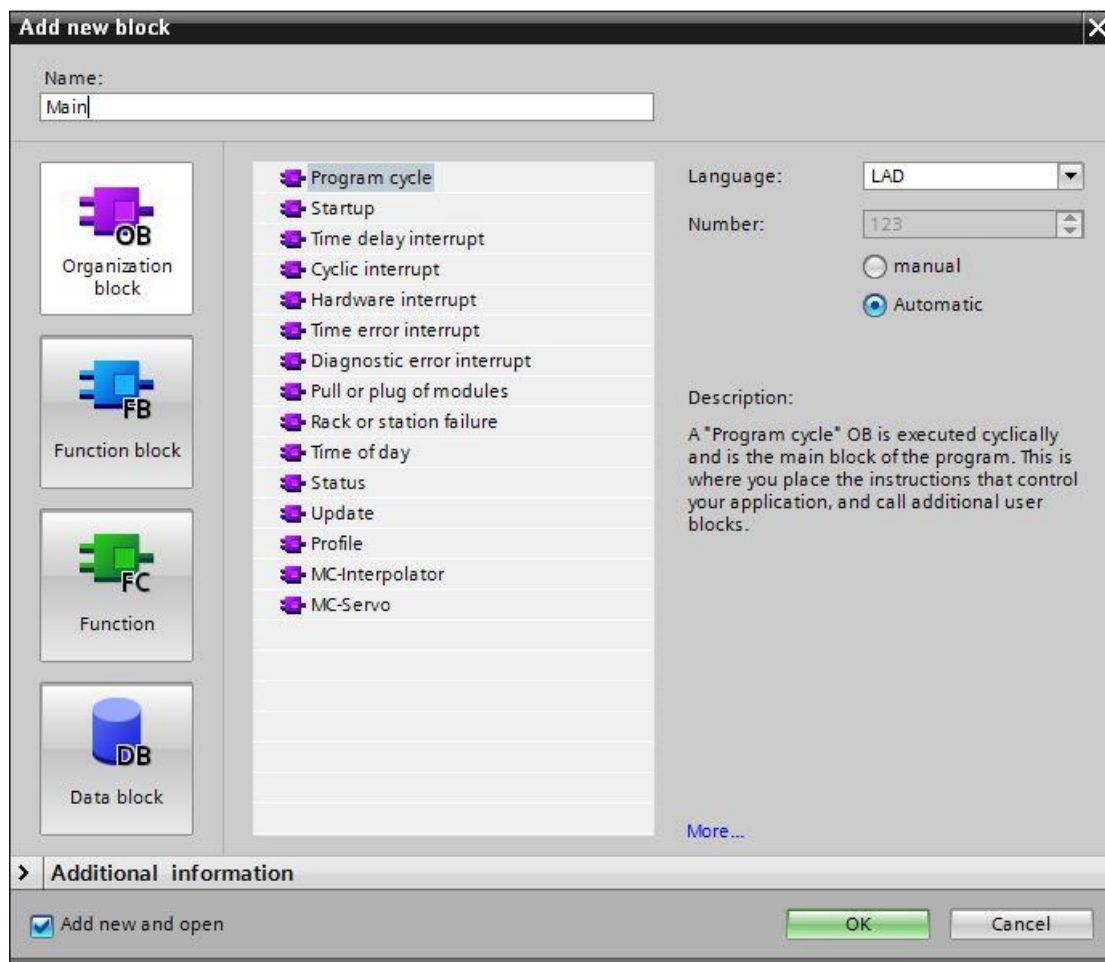
Bloky v programu TIA portal se dělí na čtyři typy:

Organizační blok – hlavní blok programu, je volán v každém cyklu programu.

Funkční blok – jde o blok, který uchovává své hodnoty trvale v instanci datových bloků, takže zůstane k dispozici i ve chvíli, kdy blok není právě aktivní.

Funkce – jde o blok kódu nebo podprogramu bez vyhrazené paměti.

Datový blok – slouží k dočasnému nebo trvalému uchovávání dat.



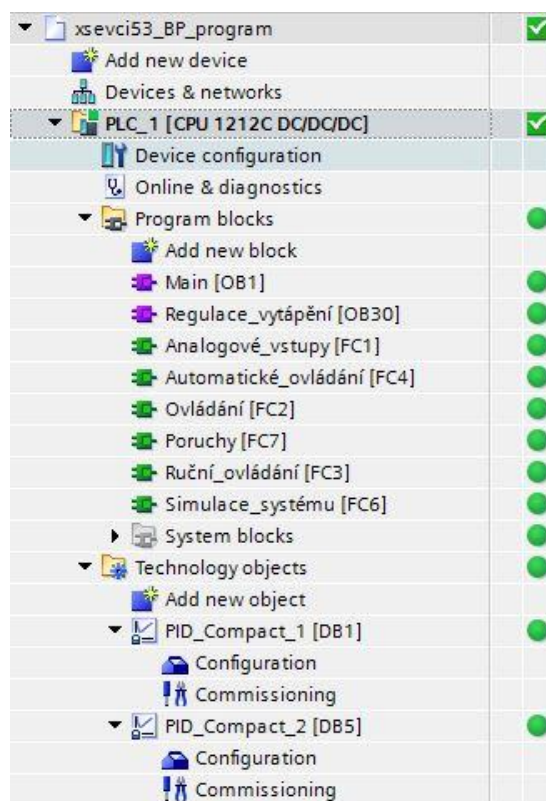
Obr. 3.3-1: Programové bloky

Program v TIA portálu vždy obsahuje jeden, někdy i více, hlavních organizačních bloků (tzv. Main). Z tohoto bloku jsou následně volány další funkční bloky, funkce. Volání může být přímé, bez podmíněné, nebo může být podmíněno.

Funkce může být zavolána z funkčního bloku a naopak funkční blok může být volán z funkce. Dále lze volat i funkci z volané funkce. V TIA portálu platí, že maximální počet takovýchto zanoření je 16.

3.3.3 Řešení řídicího programu

Program pro řízení lisu s topnými deskami vytvořený v programu TIA portal, byl pro přehlednost rozdělen do osmi bloků, přičemž osmý blok neslouží k řízení stroje, ale pouze k simulaci systému. Poslední blok bude detailněji popsán v kapitole č. 6.

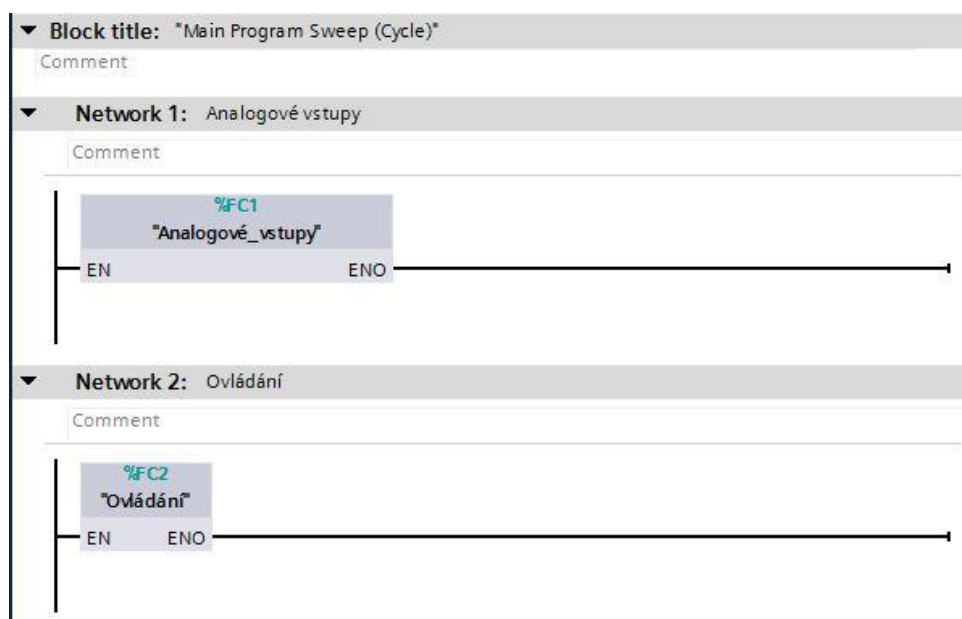


Obr. 3.3-2: Použité programové bloky

Přehled programových bloků a jejich funkcí

- Main

Jde o hlavní organizační blok a z něj jsou spouštěny všechny funkce v programu.



Obr. 3.3-3: Část programu v hlavním funkčním bloku

- **Regulace_vytápění**

Je to jediný organizační blok cyklického přerušení v programu. Každých sto milisekund dojde k přerušení programu a vykoná se obsah tohoto bloku. Využívá se pro regulaci. V programu jsou v něm umístěny oba regulátory PID_Compact pro regulaci teplot horní a dolní desky.

- **Analogové_vstupy**

Tato funkce obsahuje dva bloky pro převod analogové hodnoty 0-10V na teplotu ve stupních celsia, která je následně zobrazena ve vizualizaci.

- **Automatické_ovládání**

Provádí se pouze, když je přepínač režimů v poloze „Automat“. Funkce obsahuje podmínkový řetězec pro sepnutí automatického režimu a program pro provedení jednoho cyklu. Cyklus se skládá z dojetí beranu do dolní polohy, zde tlačí po určitý čas, který lze nastavit v panelu HMI. Poté vyjede nahoru a čeká, až obsluha výjme výlisek, vloží nový kus a zmáčkne tlačítko „Start automat“. Aby bylo možné automat sepnout, musí být splněny následující podmínky: zapnutý HA, topná deska dosáhla nastavené teploty a beran lisu je ve výchozí poloze.

- **Ovládání**

Jde o nejsložitější funkci. Obsahuje veškeré řízení funkčních prvků lisu. Ovládají se zde všechny ventily a elektromotor, z funkce automatického nebo ručního ovládání pouze přijde požadavek pro pohyb a v této funkci se provede vše pro jeho uskutečnění. K tomu, aby se mohl beran pohybovat, musí být nejprve sepnut HA tlačítkem na řídicím panelu (v simulaci se spíná tl. „Start HA“ na HMI v okně Ovládání), pokud běží agregát déle než 3 vteřiny, dojde k jeho zastavení odpojením relé KA10 ovládaného z PLC. Při příchodu požadavku pro pohyb se nejdříve přestaví ventily do správných pozic (uzavře se dekompresní ventil, otevře se bezpečnostní ventil a přestaví se směrový ventil) a teprve poté se sepne relé KA10, pokud není HA v provozu. Při zastavení pohybu beranu se bezpečnostní i směrový ventil uzavře a dekompresní se otevře. Pokud je to zastavení v důsledku poruchy, dojde také k vypnutí HA.

- **Poruchy**

V této funkci se kontrolují všechny naprogramované poruchy. Pro ukázkou jsou zde čtyři poruchy: Stisk nouzového zastavení, narušení optických zábran, nesepnutí motorového stykače KM1 a nesepnutí elektromagnetických ventilů. Všechny poruchy vedou k okamžitému zastavení stroje a pro jeho opětovný chod je nutno stisknout tlačítko „Porucha“ pro vyresetování poruch.

- **Ruční ovládání**

Provádí se, když je přepínač režimů v poloze „Ruční ovládání“ a pouze přeposílá požadavky z tlačítek na řídicím panelu do funkce „Ovládání“

3.4 Aplikace pro ovládání a vizualizaci lisu

3.4.1 Program pro ovládací panel

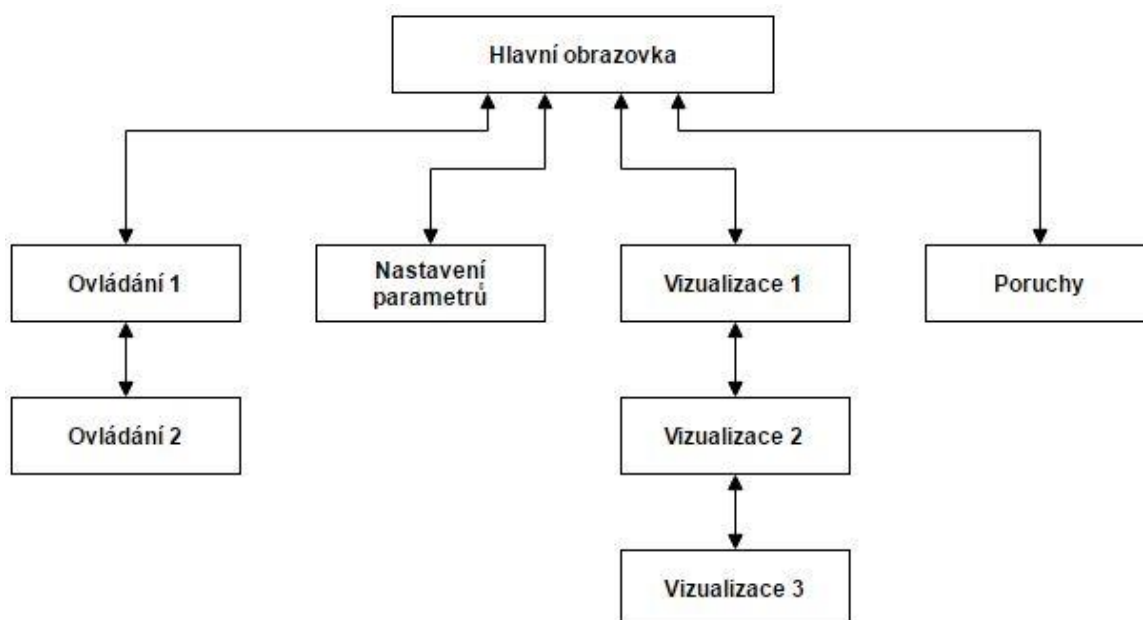
Program ve WinCC se nepíše jako ve Step7 do jednotlivých větví, které jsou vykonávány logicky za sebou, ale vytváří se návrhy obrazovek („Screen“), do kterých lze přidávat různé prvky (např.: virtuální tlačítka, zobrazovače, grafy, zadávací panely, atd.), jejichž vlastnosti se dají programovat v liště „Properties“. Můžeme tak k virtuálnímu tlačítku přiřadit proměnou z PLC a stiskem tohoto tlačítka měnit její hodnotu. Obdobně se nastavují I/O panely, které mohou mít čistě nastavovací nebo zobrazovací funkci, ale umožňují i jejich kombinaci.

Význam použitého typu polí u naprogramovaných obrazovek:

- šedé pole s bílým textem - tlačítko/přepínač
- bílé pole s šedým/černým textem - signalizace
- černé pole s bílým textem - pole pro nastavení hodnot

3.4.2 Hierarchie oken

Navržený program pro řízení se skládá celkem ze sedmi oken a jejich hierarchická struktura je patrná z obrázku:



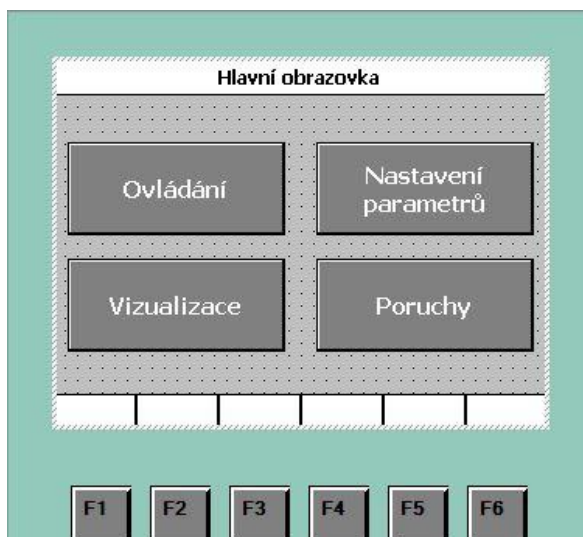
Obr. 3.4-1: Hierarchie oken

Z hlavního okna se lze dostat pouze na čtyři vedlejší okna stisknutím příslušných virtuálních kláves a na dalších úrovních se pohyb mezi obrazovkami řídí pomocí fyzických tlačítek na displeji označených jako F1 až F6.

3.5 Popis obrazovek

- Hlavní (domovské) okno

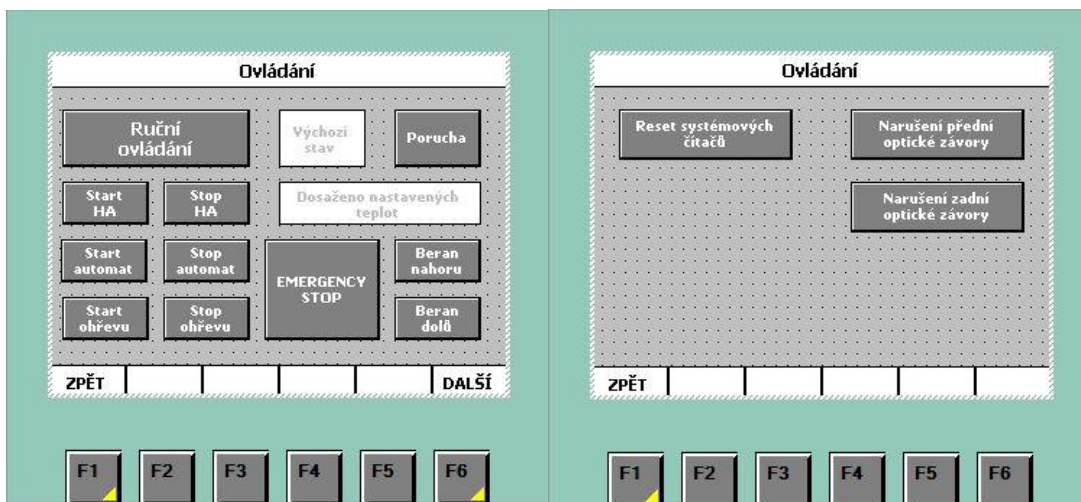
V tomto okně nelze nic nastavovat, tvoří pouze menu, ze kterého se uživatel může dostat na vedlejší čtyři okna stisknutím příslušných virtuálních tlačítek.



Obr. 3.5-1: Hlavní obrazovka

- Ovládání

Skládá se ze dvou oken, mezi kterými se přechází pomocí tlačítek F6 (Další) a F1 (Zpět). První obrazovka obsahuje virtuální tlačítka, která by měla být na rozvaděči a nahrazuje tak všechny důležité mechanické ovládací prvky, které jsou nezbytné pro simulaci chodu lisu. Na druhé obrazovce jsou umístěna tlačítka, která na reálném modelu nenajdeme, ale slouží k ovládání simulovaného systému, konkrétně k nulování čítačů, které simulují teplotu desek a dále zde najdeme virt. tlačítka k simulaci poruch.



Obr. 3.5-2: Ovládání

- Nastavení parametrů

Okno je určeno pro zadávání parametrů lisování. Je zde možnost zadat čtyři parametry

Teplota horní desky [°C] - nastavuje žádanou hodnotu teploty HD.

Teplota dolní desky [°C] - nastavuje žádanou hodnotu teploty DD.

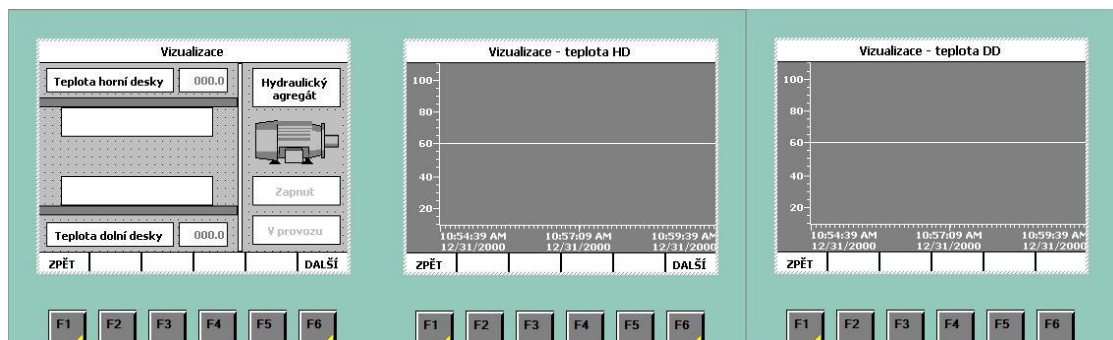
Doba lisování [ms] – nastavuje čas, po který bude beran pod tlakem v dolní poloze.



Obr. 3.5-3: Nastavení parametrů

- Vizualizace

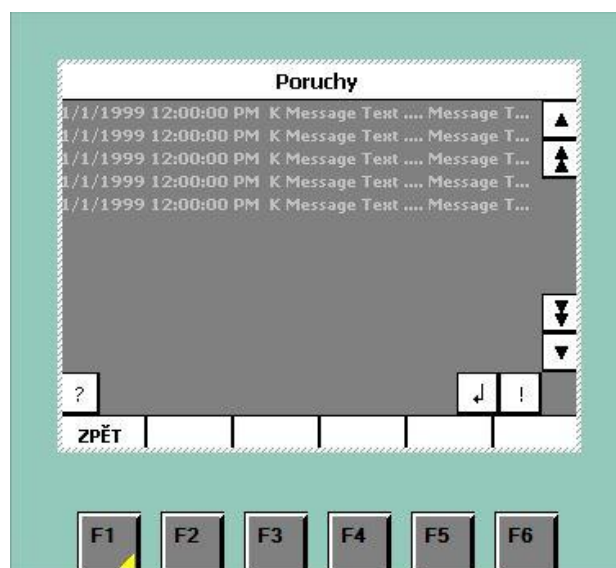
Vizualizaci tvoří tři okna. V prvním okně je možnost sledovat aktuální hodnoty teploty obou desek a přesto, že u lisu není snímač okamžité polohy beranu lisu, tak byla pro lepší představu vytvořena simulace jeho pohybu. Poslední věcí na této obrazovce je zobrazení stavu hydraulického agregátu. Ten se při delší nečinnosti vypíná. To se kromě snížení odběru elektrické energie projeví i na menším opotřebení směrového ventilu, který se nemusí přestavovat pod tlakem. Druhé a třetí okno obsahuje pouze grafické závislosti teploty horní a dolní desky na čase.



Obr. 3.5-4: Vizualizace

- Poruchy

Toto okno obsahuje přehled aktuálních poruch zobrazených v tabulce. Tabulka může obsahovat nejrůznější parametry např. číslo alarmu, datum/čas, název poruchy, typ alarmu (warning, error, ad.). Zobrazení poruch v tabulce lze změnit z „Current alarm states“ (Aktuální stav alarmů) i na tzv. „Alarm buffer“, v tom případě by tabulka ukazovala všechny zaznamenané poruchy od zapnutí stroje.



Obr. 3.5-5: Poruchy

4 Návrh a řešení PID regulace vyhřívání lisu

4.1 Regulátory

Regulátor je zařízení určené k automatizované regulovací soustavě. Slouží k dosažení a udržení požadované hodnoty výstupní veličiny. Regulace probíhá na základě regulační odchylky,

$$e = w - y \quad (4.1)$$

kde je: e ... regulační odchylka

w ... žádaná hodnota

y ... výstupní hodnota

Existuje několik druhů regulace:

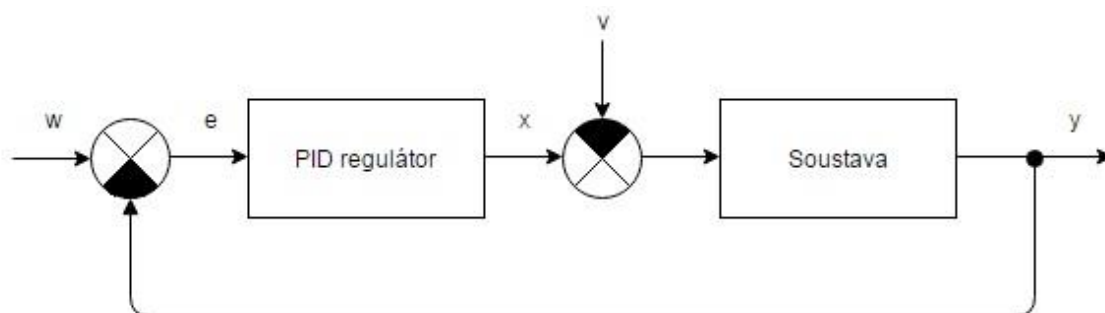
- ON/OFF regulace – jde o jeden ze základních typů regulace, požadovanými parametry jsou žádaná hodnota a velikost hystereze. Hystereze není nutností, ale bez ní může regulátor při dosažení požadované hodnoty v důsledku šumu několikrát spínat a rozspínat kontakty, což může vest k jejich opotřebení.
- PID regulace – pomocí změny jednotlivých složek, proporcionální, integrační a derivační, lze regulátor nastavit, abychom dosáhli požadovaného průběhu regulace. Na rozdíl od ON/OFF regulace se zde dosahuje menšího překmitu, protože PID regulátor mění velikost akčního zásahu v průběhu regulace, což vede k rychlejšímu ustálení žádané hodnoty a oproti ON/OFF regulátoru dovede totu hodnotu udržet s takřka nulovou ustálenou odchylkou.

V mnoha jednodušších technických aplikacích si vystačíme s ON/OFF regulátorem, jako je například napouštění tanku, regulace teploty v domě nebo ohřívání vody v bojleru. Ve složitějších případech, kde je zapotřebí přesné a stabilní regulace je však nutnost použít PID regulátor.

4.2 PID regulátor

Je to spojitý regulátor složený z proporcionální, integrační a derivační složky. V regulační smyčce se zařazuje před soustavu. Jeho vstupem je regulační odchylka, tedy rozdíl mezi žádanou hodnotou a výstupní veličinou a výstupem je akční veličina, která se vypočítává z regulační odchylky a parametrů PID regulátoru [9].

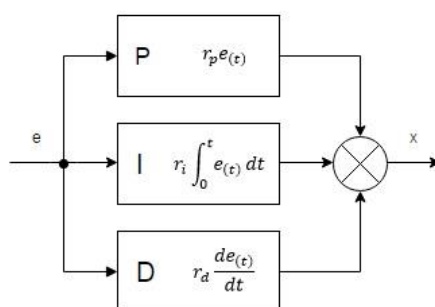
Zapojení PID regulátoru v regulační smyčce:



Obr. 4.2-1: Zapojení PID regulátoru ve zpětnovazební smyčce

- w ... žádaná hodnota
- e ... regulační odchylka
- x ... akční veličina
- v ... vstup poruchy
- y ... výstupní veličina

Blokové schéma PID regulátoru:



Obr. 4.2-2: Schéma PID regulátoru

Obecný tvar PID regulátoru:

$$x_{(t)} = r_p e_{(t)} + r_i \int_0^t e_{(t)} dt + r_d \frac{de_{(t)}}{dt} \quad (4.2)$$

- $x_{(t)}$... akční veličina
- $e_{(t)}$... regulační odchylka
- r_p ... proporcionální konst.
- r_i ... integrační konst.
- r_d ... derivační konst.

Význam jednotlivých složek PID regulátoru:

- Proporcionální – regulátor vezme rozdíl žádané a výstupní hodnoty teploty a vynásobí je konstantou k_s , čím bude tento rozdíl větší, tím bude větší akční zásah z regulátoru, který se projeví zvýšením výkonu na topných patronách. Pokud bude hodnota žádané a výstupní teploty stejná, bude výkon nulový.
- Integrační – integrační složka vezme odchylku teploty od žádané hodnoty, vynásobí ji konstantou a přičte ji ke svojí složce. Pokud bude výstupní hodnota nižší než žádaná, bude se hodnota integrační složky zvětšovat a naopak, pokud bude vyšší, bude se velikost integrační složky zmenšovat. Čím větší bude odchylka, tím větší bude změna integrační složky. Při použití integrátoru v regulátoru se integrační složka ze začátku regulace projeví jen málo, postupem regulace se zvětšuje a po překročení žádané hodnoty se bude snižovat. Nakonec se ustálí na hodnotě, která odpovídá výkonu, který se ztrácí ochlazováním a zajistí tak nulovou ustálenou odchylku teploty.
- Derivační – derivační složka regulátoru sleduje rychlost změny odchylky od žádané hodnoty. Čím je změna odchylky rychlejší, tím je hodnota derivační složky větší. Tato složka se projeví zejména při prudkém ochlazení například při přiložení studeného polotovaru. Jakmile dojde k velmi rychlému snížení teploty oproti žádané hodnotě, velikost derivační složky se prudce zvýší a bude se snažit tuto odchylku vykompenzovat.

4.3 Identifikace regulované soustavy

Pro identifikaci přenosu soustavy byla zvolena odezva na jednotkový skok. Tato odezva byla měřena na desce, která je svými parametry velice blízká regulované desce, a proto při výsledné aplikaci regulátoru nebude potřeba parametry PID regulátoru doladovat. Měření odezvy nemohlo probíhat přímo na regulované desce, protože ta nebyla k dispozici.

Postup identifikace:

1. Do topných patron v desce se pustí elektrický proud a na teplotním čidle se sleduje změna teploty desky v čase.
2. Z naměřených hodnot se vytvoří graf teploty v závislosti na čase a z výsledného průběhu se odečtou význačné hodnoty (viz přednáška “Neparametrické metody identifikace” z předmětu “Modelování a identifikace” strana 8 [10]).
3. Z odečtených hodnot se vypočítá zesílení, časové konstanty a řád systému a z nich se sestaví hledaný přenos systému.

Ad.1

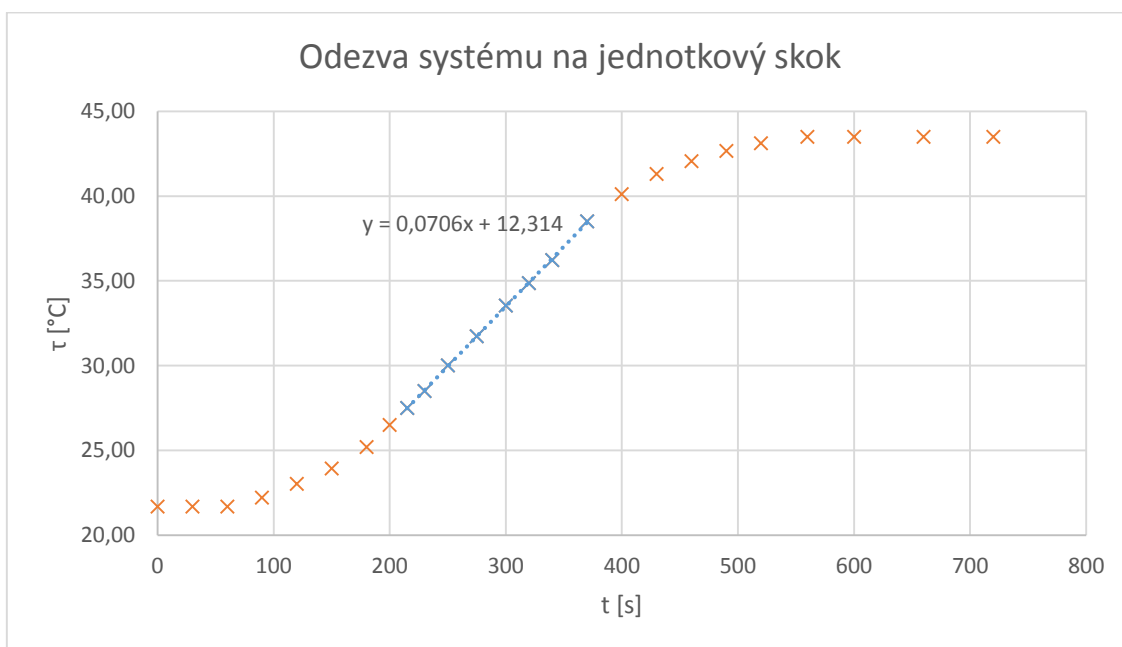
Naměřené hodnoty jsou přehledně zaznamenány v tabulce.

Tab. 4-1: Odezva na jednotkový skok

Odezva na jednotkový skok													
t [s]	0	30	60	90	120	150	180	200	215	230	250	275	300
τ [°C]	21,69	21,69	21,69	22,22	23,02	23,93	25,20	26,50	27,50	28,50	30,01	31,73	33,54
t [s]	320	340	370	400	430	460	490	520	560	600	660	720	
τ [°C]	34,85	36,22	38,50	40,10	41,30	42,05	42,65	43,10	43,48	43,48	43,48	43,48	

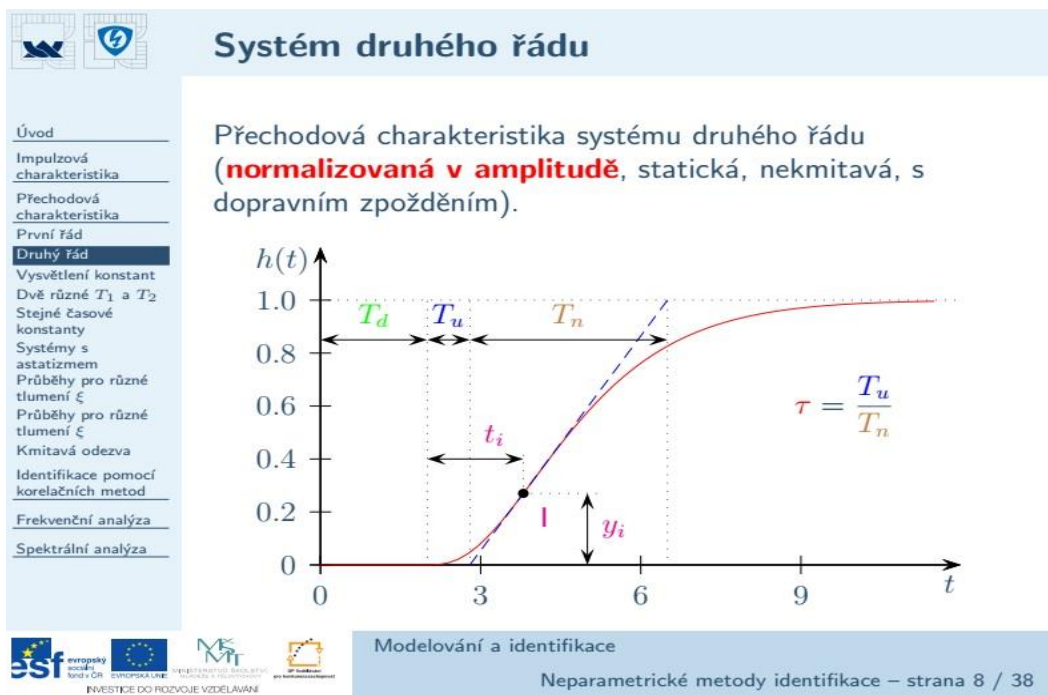
Ad.2

Hodnoty jsou vyneseny do grafu:



Obr. 4.3-1: Odezva systému na jednotkový skok

Z grafu je dobře patrné, že se jedná o systém druhého nebo vyššího řádu. Pro přesnou identifikaci je potřeba odečíst z grafu (z tabulky) význačné body, které jsou zobrazeny na obrázku 4.3-2.



Obr. 4.3-2: Identifikace systému druhého řádu [10]

Hodnoty význačných bodů jsou:

$T_u = 120\text{s}$... doba průtahu

$T_n = 310\text{s}$... doba náběhu

$t_i = 220\text{s}$... x-ová souřadnice inflexního bodu

$y_i = 31,7^\circ\text{C}$... y-ová souřadnice inflexního bodu

Ad.3

Z odečtených hodnot je nyní potřeba vypočítat zesílení soustavy, umístění pólů a řád systému. K tomu budeme používat následující vztahy.

$$\tau = \frac{T_u}{T_n} = \frac{120}{310} = 0,387 \quad (4.3)$$

Podle velikosti τ se rozhodne, jaký tvar bude mít přenos systému.

Pokud je $\tau < 0,1$:

$$F(p) = \frac{k_s}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \quad (4.4)$$

Pokud je $\tau > 0,1$:

$$F(p) = \frac{k_s}{(T p + 1)^n} \quad (4.5)$$

Pokud je pouze jedna časová konstanta jako v našem případě, tak se podle tabulky určí na základě velikosti τ určí řád systému.

Tab. 4-2: Určení řádu systému [10]

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
τ	0.104	0.218	0.319	0.410	0.493	0.570	0.642	0.709	0.773
y_i	0.264	0.327	0.353	0.371	0.384	0.394	0.401	0.407	0.413

Podle tabulky je náš systém nejbližší pátého řádu. Danému řádu by mělo odpovídat jak τ , tak i y_i . Jelikož naše y_i má jinou hodnotu než v tabulce, je potřeba k tabulkovému y_i' pro daný řád systému dopočítat z naměřených hodnot druhou souřadnici inflexního bodu, tedy t_i' . Nesmíme zapomenout na to, že hodnota y_i v tabulce je v normalizovaném tvaru y_{in} .

$$y_{in} = \frac{y_i - y_{min}}{y_{max} - y_{min}} = \frac{31,7 - 21,7}{43,5 - 21,7} = 0,4587 \quad (4.6)$$

Zesílení k_s se počítá jako podíl rozdílu maximální a minimální y-psylonové hodnoty a rozdílu použitého a minimálního výkonu, v tomto případě v procentech.

$$k_s = \frac{y_{max} - y_{min}}{P_i - P_{min}} = \frac{43,5 - 21,7}{20 - 0} = 1,09 \quad (4.7)$$

Z tohoto t_i' a z řádu systému se vypočítá časová konstanta T podle vzorce

$$T = \frac{t_i'}{n - 1} = \frac{246,7301}{5 - 1} = 61.6825 \quad (4.8)$$

Výsledný přenos soustavy má tvar:

$$F_{S(p)} = \frac{\frac{k_s}{T^5}}{(p + \frac{1}{T})^n} \quad (4.9)$$

$$F_{S(p)} = \frac{1,2207e - 09}{(p + 0,01621)^5}$$

4.4 Návrh PID regulátoru

Regulátor se navrhuje přímo z přenosu soustavy a to za pomoci vhodné metody.

Pro výpočet parametrů regulátoru byla zvolena metoda Optimálního modulu (OM) a na základě kapitoly “Syntéza regulačních obvodů” [9] z předmětu “Řízení a regulace 1” byly vypočteny všechny parametry regulátoru a jeho výsledný tvar.

Při návrhu regulátoru metodou Optimálního modulu ze soustavy se stejnými časovými konstantami, vycházíme z přenosu soustavy ve tvaru:

$$F_{S(p)} = \frac{k_s}{(Tp + 1)^n} \quad (4.10)$$

Regulátor poté hledáme ve tvaru:

$$F_{r(p)} = k_p + \frac{k_i}{p} + k_d * p \quad (4.11)$$

Protože se jedná o velmi častý případ výpočtu regulátoru ze soustavy se stejnými časovými konstantami, existují vztahy pro výpočet parametrů pro různé typy regulátorů a stačí tedy pouze do těchto vztahů dosadit. Nás ovšem bude zajímat pouze PID regulátor a pro ten je výpočet konstant následující:

$$k_p = \frac{7 * n - 16}{16 * k_s * (n - 2)} = \frac{7 * 5 - 16}{16 * 1,09 * (5 - 2)} = 1.9304 \quad (4.12)$$

$$k_i = \frac{15}{16 * k_s * T * (n - 2)} = \frac{15}{16 * 1,09 * 61,6825 * (5 - 2)} = 0.0046 \quad (4.13)$$

$$k_d = \frac{T}{k_s} * \frac{(n + 1) * (n + 3)}{16 * (n - 2)} = \frac{61,6825}{1,09} * \frac{(5 + 1) * (5 + 3)}{16 * (5 - 2)} = 24.2526 \quad (4.14)$$

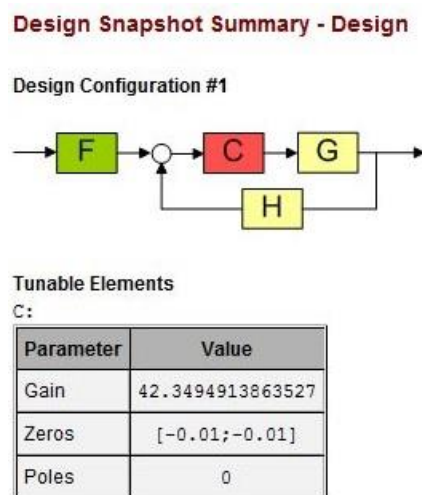
Výsledný přenos regulátoru má tvar:

$$F_{r(p)} = \frac{24.253 * (p + 0.07711) * (p + 0.002485)}{p}$$

Veškeré výpočty byly prováděny v programu Matlab, včetně dodatečného vyladění parametrů regulátoru v utility sisotool.

Hlavní dodatečnou úpravou bylo zvětšení fázové bezpečnosti, to je důležité, protože mezi skutečným přenosem systému a jeho aproximací může být rozdíl a právě vhodnou volbou fázové bezpečnosti (obvykle větší než 45°) se zabráňuje tomu, aby byla smyčka s regulovaným systémem nestabilní.

Parametry pro PID regulátor mají po doladění konečný tvar:



Obr. 4.4-1: Konfigurace parametrů PID regulátoru

Proporcionální zesílení bylo zvětšeno na 42,35 a poloha obou nul v regulátoru byla stanovena do bodu -0,01. Při těchto hodnotách je fázová bezpečnost 60° a překmit přes žádanou hodnotu je okolo 10%. Obecně se uvádí, že maximální překmit by měl mít při regulaci 20%, ale při regulaci teploty je vyšší překmit často nežádoucí.

4.5 PID regulátor v program TIA portál

PLC řady S7-1200 mají integrovanou funkci PID regulátoru a umožňují naprogramovat až 16 regulačních smyček. Pro řadu S7-1200 má program TIA portal V13 dva bloky PID regulace, jsou to PID_Compact a PID_3Step. Oba bloky jsou volány tak často, jako blok programu, ve kterém jsou napsány. Jejich vzorkovací perioda je vypočtena automaticky jako průměr časů prvních deseti volání regulátoru. Velkou část parametrů regulace můžeme nastavovat automaticky, nás ale bude zajímat hlavně manuální nastavení hodnot, nutných pro správný chod PID regulátoru.

PID algoritmus

Hodnotu výstupní proměnné počítají oba typy regulátorů shodně ze stejné rovnice v každém volacím cyklu. Při výpočtu je potlačen windup jev a počítá se s váhou proporcionálního a derivačního členu.

$$y = K_p \cdot s \left[(b \cdot w - x) + \frac{1}{T_I \cdot s} (w - x) + \frac{T_D \cdot s}{a \cdot T_D \cdot s + 1} (c \cdot w - x) \right] \quad (4.15)$$

y	... výstupní hodnota
K _p	... zesílení proporcionálního členu
s	... Laplaceův operátor
b	... váha proporcionálního členu
w	... žádaná hodnota
x	... procesní hodnota
T _I	... integrační časová konstanta
T _D	... derivační časová konstanta
a	... koeficient derivačního zpoždění (T _I = a · T _D)
c	... váha derivačního členu

Oba dva bloky PID regulace se od sebe liší ve vstupních a hlavně ve výstupních parametrech.

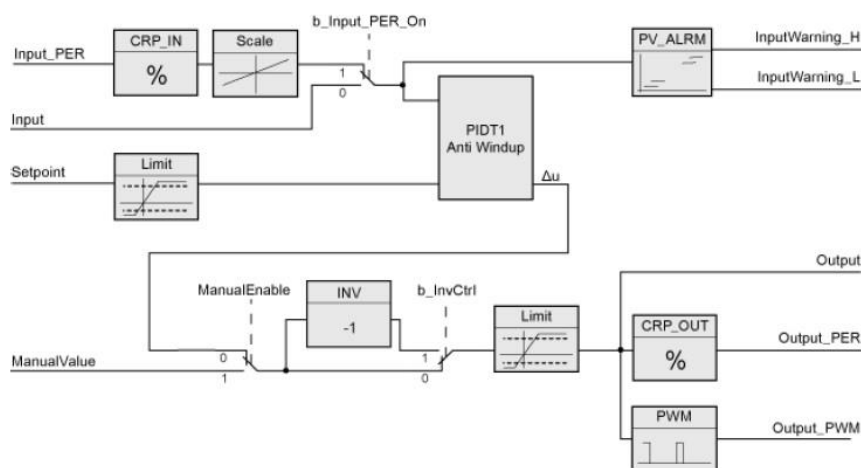
4.5.1 PID_3Step

Tento blok má dva typy výstupních veličin. Prvním je digitální hodnota výstupu a druhým je pulzní spínání horní (kladné) a dolní (záporné) hodnoty podle vypočtené výstupní veličiny regulace. Je to v podstatě regulace pomocí třístavového relé.

PID_3Step se nehodí pro regulaci teploty desek vyhříváných pomocí topných patron způsobem, který je použit v této bakalářské práci, a proto ho nebudu blíže popisovat.

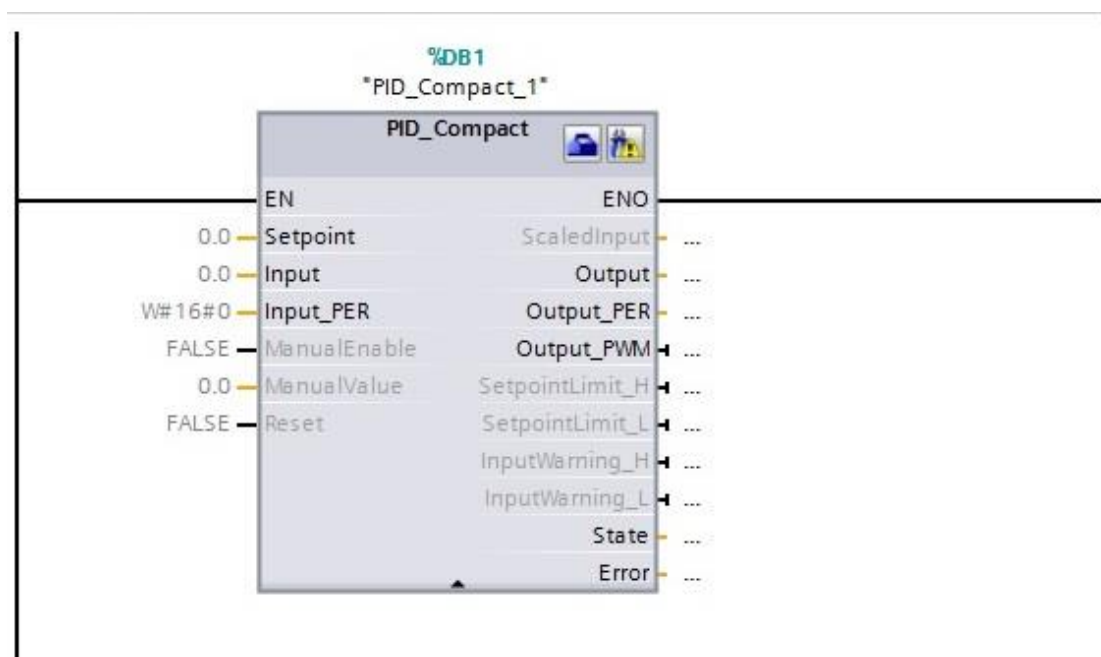
4.5.2 PID_Compact

Je to univerzálnější blok regulace, protože má tři výstupy. První dává digitální hodnotu výstupu, druhý analogovou a třetí výstup je pro nás nejzajímavější a to je pulzně šířkově modulovaný signál (PWM).



Obr. 4.5-1: Schéma regulátoru PID_Compact

Na obrázku můžeme vidět, jak vypadá blok PID_Compact v programu TIA portal V13 a jaké jsou všechny jeho vstupní a výstupní.



Obr. 4.5-2: Blok regulátoru PID_Compact v programu TIA portal

V následující tabulce je popis základních proměnných bloku PID_Compact, včetně požadovaných datových typů.

Tab. 4-3: Hlavní parametry bloku regulátoru PID_Compact v programu TIA portal

Hlavní parametry regulátoru PID_Compact		
Proměnná	Datový typ	Popis
Setpoint	REAL	Žádaná hodnota řízení v automatickém módu
Input	REAL	Hodnota z programu použitá jako zdroj pro procesní hodnotu
Input_PER	WORD	Analogová hodnota přímo ze snímače použitá jako zdroj procesní hodnoty
Output	REAL	Digitální výstupní hodnota
Output_PER	WORD	Analogová výstupní hodnota
Output_PWM	BOOL	Pulzně šířkově modulovaná výstupní hodnota
State	INT	Nabývá hodnoty 0-4 podle aktuálního pracovního módu. Pro změnu módu se používá proměnná sRet.i_Mode
Error	DWORD	Výstupní hodnota odpovídá přednastaveným chybovým hlášením (Error = 0000: No error pending)

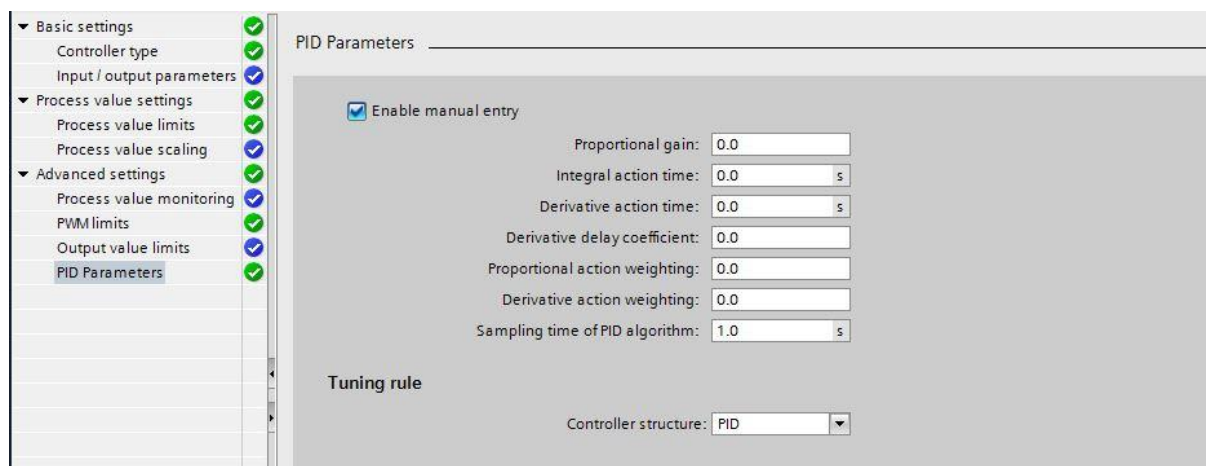
Většinu parametrů je regulátor schopen naučit se automaticky. Využívají se k tomu pracovní módy Pretuning a Fine tuning. Popis všech dostupných pracovních módů PID regulátoru je uveden v tabulce.

Tab. 4-4: Přehled pracovních módů bloku regulátoru PID_Compact v programu TIA portal

State / sRet.i_Mode		
Hodnota	Pracovní mód	Popis
0	Inactive	Regulátor byl vypnut. Dosud nebyly automaticky nastaveny parametry regulace v módu "Pretuning". Nastala chyba (Error <> 0000)
1	Pretuning	Automatický výpočet parametrů regulace. Odezva na skok řízení a hledání inflexního bodu. Je potřeba aby před spuštěním byl regulátor v módu "Inactive" a aby hodnota "Input" nebyla moc blízko k hodnotě "Setpoint"
2	Fine tuning	Generuje konstantní a limitní oscilace procesní hodnoty a optimalizuje parametry vzhledem k amplitudě a frekvenci pulzů. Dále sleduje rozdíly mezi módy "Pretuning" a "Fine tuning" a dále upravuje parametry regulace.
3	Automatic	Regulátor automaticky reguluje výstupní hodnotu podle zjištěných parametrů a na základě vstupů "Setpoint" a "Input"
4	Manual	V tomto módu manuálně specifikujeme výstupní hodnotu regulátoru

4.5.3 Nastavení PID regulátoru

Pokud se parametry do bloku PID regulátoru zadávají manuálně, slouží k tomu toto okno:



Obr. 4.5-3: Parametry PID regulátoru v programu TIA portal

Jsou zde pole pro vložení proporcionálního zesílení, integrační a derivační časové konstanty. Blok PID_Compact má i další okna, která umožňují pokročilé nastavení regulace, jejich názvy jsou na obr. 4.5-3 v levém sloupci a je zde možnost nastavit limity pro vstupní i výstupní hodnoty regulátoru, čas vzorkování, ad.

Obvyklým postupem je tyto hodnoty hrubě odhadnout a poté doladovat hodnoty zesílení a obou časových konstant na základě průběhu výstupní hodnoty. Rovnice regulátoru, pro náš systém, však již byla vypočtena v kapitole č. 4.4, ale proto vložení proporcionálního zesílení, integrační a derivační časové konstanty do příslušných kolonek v bloku PID regulátoru, musíme tyto parametry nejdříve vypočítat z přenosu regulátoru.

Přenos upraveného regulátoru z kapitoly 4.4 má tvar:

$$Fr_{(p)} = \frac{42,35 * (p + 0,01) * (p + 0,01)}{p}$$

Z něj vypočítáme proporcionální (r_p), integrační (r_i) a derivační (r_d) zesílení:

$$Fr_{(p)} = r_p + \frac{r_i}{p} + r_d p = 0,847 + \frac{0,004235}{p} + 42,35p \quad (4.16)$$

Z hodnot zesílení podle vztahů 4.17, 4.18 a 4.19 dostaneme hledané proporcionálního zesílení a integrační a derivační časovou konstantu:

$$K_R = r_p = 0,847 \quad (4.17)$$

$$T_I = \frac{r_p}{r_i} = \frac{0,847}{0,004235} = 200 \quad (4.18)$$

$$T_D = \frac{r_d}{r_p} = \frac{42,35}{0,847} = 50 \quad (4.19)$$

Protože PID regulátor nebyl navržen přímo pro desku, na které by měl být provozován, bude potřeba jeho hodnoty u reálného modelu doladit. Buď na základě průběhu výstupní hodnoty, nebo k tomu lze využít některé z ladících funkcí bloku PID_Compact.

5 Návrh elektrického zapojení s ohledem na požadavky procesu a bezpečnostních norem

5.1 Požadavky procesu

Při návrhu elektrických komponent vycházíme z požadovaných parametrů lisu. Jsou to zejména maximální lisovací tlak, doba jednoho cyklu (při sériové výrobě), maximální teplota horní a spodní desky.

V našem případě jsou zadány parametry stroje:

Síla lisování: 250 kN

Doba lisování: 300 s

Pracovní teplota horní desky: 130°C

Pracovní teplota spodní desky: 150°C

Lisovací plocha: 400x400 mm

Maximální zdvih: 300 mm

Pozn.: Nevyžaduje se změna tlaku ani rychlosti během lisování a není důležitá informace o aktuální poloze beranu. Teplota desek je stálá po celou dobu lisovacího cyklu.

5.2 Hlavní elektrické komponenty

5.2.1 Motor

Při výběru vhodného pohonu se vychází především z parametrů již navrženého olejového hydrogenerátoru. Pomocí vzorců vypočteme výkon motoru ze známé maximální lisovací síly (tlaku), z požadované maximální rychlosti posuvu a ze známého průtoku na otáčku.

$$P = Q \times p [W]$$

(5.1)

P ... výkon motoru [W]

Q ... průtok čerpadla při jmenovitých otáčkách motoru [dm³/min.]

p ... tlak (podíl požadované síly a plochy hydraulického válce) [MPa]

Dalšími parametry pro výběr motoru jsou jeho rozměry, snadné řízení a stejně jako u všech ostatních komponent také i cena.



Obr. 5.2-1: Asynchronní motor od firmy Siemens [11]

5.2.2 Motorový spouštěč - třífázový

Motorový spouštěč zajišťuje zapnutí motoru, jeho trvalý chod a vypnutí napájení. Dále funguje jako ochrana proti zkratu a přetížení motoru.



Obr. 5.2-2: Motorový spouštěč od firmy Schneider [12]

5.2.3 Napájecí zdroj

Zdroj stejnosměrného napětí se používá pro spínání reléových kontaktů, k napájení programovatelného automatu, jeho analogových a digitálních vstupů a výstupů. Dále k napájení snímačů a elektromagnetických ventilů. Při výběru se sledují především tři parametry a sice vstupní napětí (jednofázové / třífázové), výstupní napětí a výstupní proud. Výstupní proud musí být dostatečný, aby pokryl spotřebu všech připojených elektrických komponent.



Obr. 5.2-3: Napájecí zdroj 24VDC od firmy Murr elec. [13]

5.2.4 Stykače

V práci jsou použity tři typy stykačů:

- Výkonové stykače
- Pomocné stykače
- Polovodičové stykače - používají se tam, kde se předpokládá hodně sepnutí a vypnutí, což by mechanické stykače nevydržely. V tomto projektu jsou použity pro regulaci topných těles.



Obr. 5.2-4: Polovodičový stykač [16]

5.2.5 Snímače

Snímače tvoří zpětnou vazbu pro PLC. Například při nastavování teploty na deskách nebo hodnoty lisovacího tlaku. Tvoří také nedílnou součást bezpečnosti systému. Díky hodnotám ze snímačů je systém schopen předcházet poruchám a haváriím.

Snímač tlaku

Je vhodné použít analogový snímač tlaku a sice zapojený v proudové smyčce 4-20mA z důvodu identifikace poruchy při přerušení vodiče. Důležité je vybrat vhodný pracovní rozsah.



Obr. 5.2-5: Tlakový snímač [14]

Snímač teploty

Teplotní snímač byl vybrán takový, aby měl co nejlineárnější převodní charakteristiku teploty na napětí pro potřebný teplotní rozsah 20 – 300°C.



Obr. 5.2-6: Teplotní snímač [25]

Převodník teploty na napětí

Je to specializovaný modul, kde vstupuje malé napětí ze snímače teploty a výstupem je napětí 0-10V, které se přivede na analogový vstup PLC a výpočtem z něj dostaneme naměřenou teplotu.

Převodník se kupuje vždy pro konkrétní snímač teploty (Pt100, Pt1000, Ni1000/5000) a pro stejnosměrné nebo střídavé napájení. Dále si lze vybrat kolik snímačů je možné připojit k jednomu modulu (1, 2 nebo 4) [18].



Obr. 5.2-7: Převodník teploty (odporu) na napětí [18]

Snímač horní koncové polohy beranu

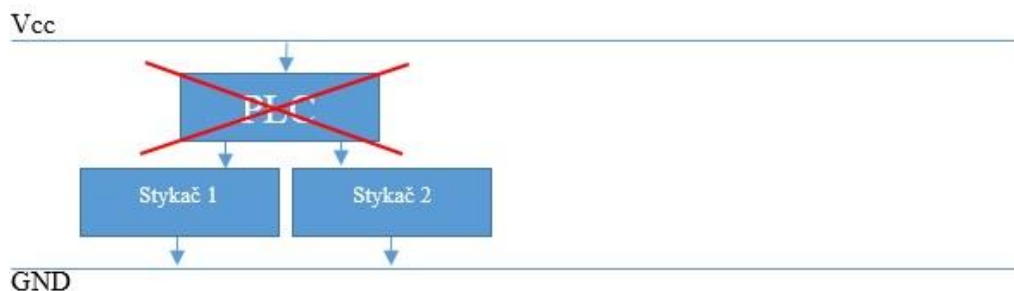
Jde o jednoduchý indukční snímač, který při najetí beranu do horní polohy pošle informaci do PLC.



Obr. 5.2-8: Indukční snímač [17]

5.3 Bezpečnostní prvky

Z hlediska bezpečnosti je standardní PLC bráno jako porucha a i v tom nejhorším možném případě, tj. na všech výstupech jsou logické jedničky, ventily jsou otevřeny a PLC nereaguje, musí být možnost stroj zastavit.



Obr. 5.3-1: PLC bez bezpečnostních prvků

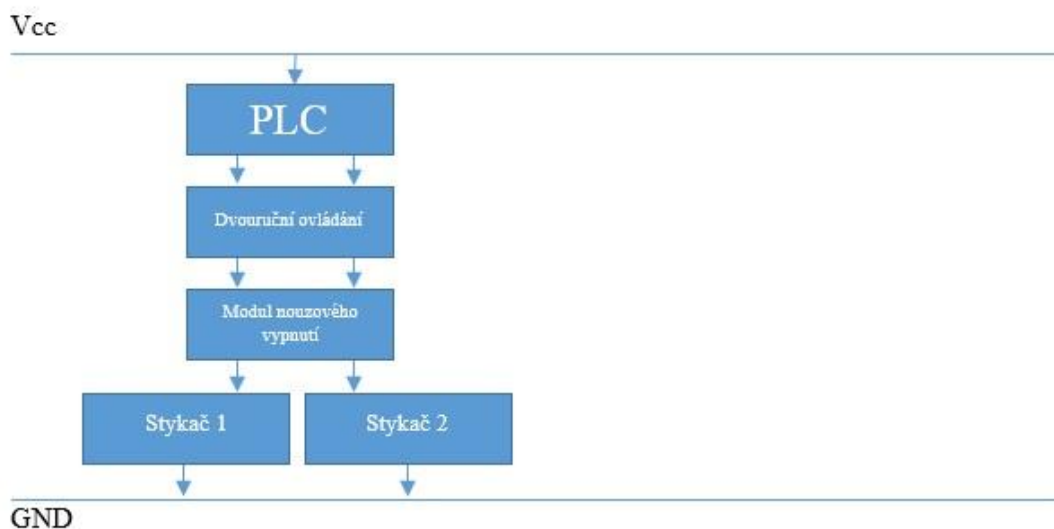
Proto je potřeba zvolit buď Safety PLC, což je velmi drahé, nebo zapojit do obvodu určité bezpečnostní komponenty a případně zdvojit některé hlavní řídicí prvky.

Které bezpečnostní prvky je vhodné pro řízení stroje použít, a v jakém zapojení, nám udávají zejména tyto dvě normy.

ČSN EN 62061 - Bezpečnost strojních zařízení - Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností

ČSN EN ISO 13849-1 - Norma bezpečnosti strojních zařízení (skládá se z několika částí)

Obě tyto normy doporučují jak provést návrh hardwaru i softwaru lisu a jak zapojit řídicí elektroniku, aby byl stroj bezpečný nebo aby se snížilo riziko, že stroj se ocitne v poruše na požadovanou mez. Pro určení konkrétního zapojení musíme provést analýzu bezpečnostních rizik, ta přiřadí stroj do jedné z bezpečnostních kategorií na základě odhadu bezpečnostních rizik, střední doby mezi poruchami nebo pravděpodobnosti vzniku nebezpečné poruchy za hodinu. Někdy tyto údaje bývají uváděny výrobci elektrických zařízení [19][20].



Obr. 5.3-2: PLC s bezpečnostními prvky

5.3.1 Optická zábrana

Je určena pro ochranu obsluhy pracující v blízkosti pohyblivých částí lisu. Skládá se z vysílače a přijímače. Obě části musejí být umístěny proti sobě a pokud se cokoli dostane mezi ně, tak se stroj musí zastavit. Optické zábrany je nutné vhodně na stroji umístit. Nesmí být moc blízko u pohyblivé části, aby se stroj stihl při přerušení paprsku zastavit, protože reakční doba všech částí nutných k zastavení beranu je v řádech stovek milisekund.



Obr. 5.3-3: Optická zábrana [23]

Bezpečnostní reléový modul pro optickou zábranu

Optická závora by se dala napojit přímo na PLC, ale jak je napsáno výše, PLC a de facto všechno co je vyrobeno z polovodičů je z pohledu bezpečnosti bráno jako, že je zrovna v poruše. Proto pro vyhodnocování signálu z optické zábrany musí být samostatný reléový modul, který má vysokou úroveň bezpečnosti a dlouhou životnost [22].



Obr. 5.3-4: Modul optické zábrany [22]

5.3.2 Bezpečnostní relé (Modul nouzového zastavení)

Tvoří hlavní bezpečnost při řízení stroje. Dělají se dva typy:

Modul nouzového zastavení – pouze zastaví stroj, ale napájení je stále připojeno

Modul nouzového vypnutí – vypne napájení stroje

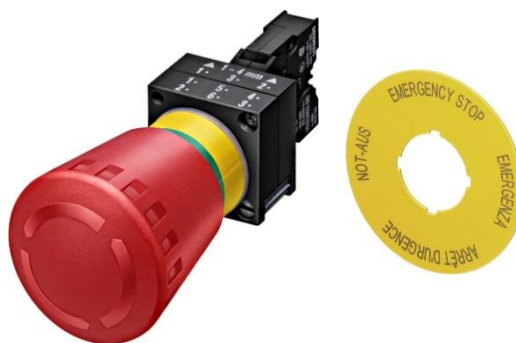
Stroj je možno kdykoli zastavit zmáčknutím tlačítka nouzového zastavení. To musí být červené, nejčastěji kulaté a s aretací po stisknutí. Tlačítko je nutné označit černým nápisem “NOUZOVÉ ZASTAVENÍ”¹ na žlutém pozadí a umístit jej na viditelné a dobře přístupné místo na stroji.

Při praktické realizaci se výstup bezpečnostního relé obvykle vede na dvě cívky stykačů, jejichž výstupní kontakty jsou seriově řazeny a jde přes ně napájení pro ventily a karty PLC. Dva stykače jsou kvůli redundanci, kdyby jeden byl poškozený. Další výstup z bezpečnostního relé informuje PLC, když nastane porucha.

Pro opětovný provoz stroje musí být sepnuty všechny hlídané kontakty relé ve vstupním řetězci, dále musíme odaretovat tlačítko nouzového zastavení a stisknout reset poruchy.



Obr. 5.3-6: Bezpečnostní relé [24]



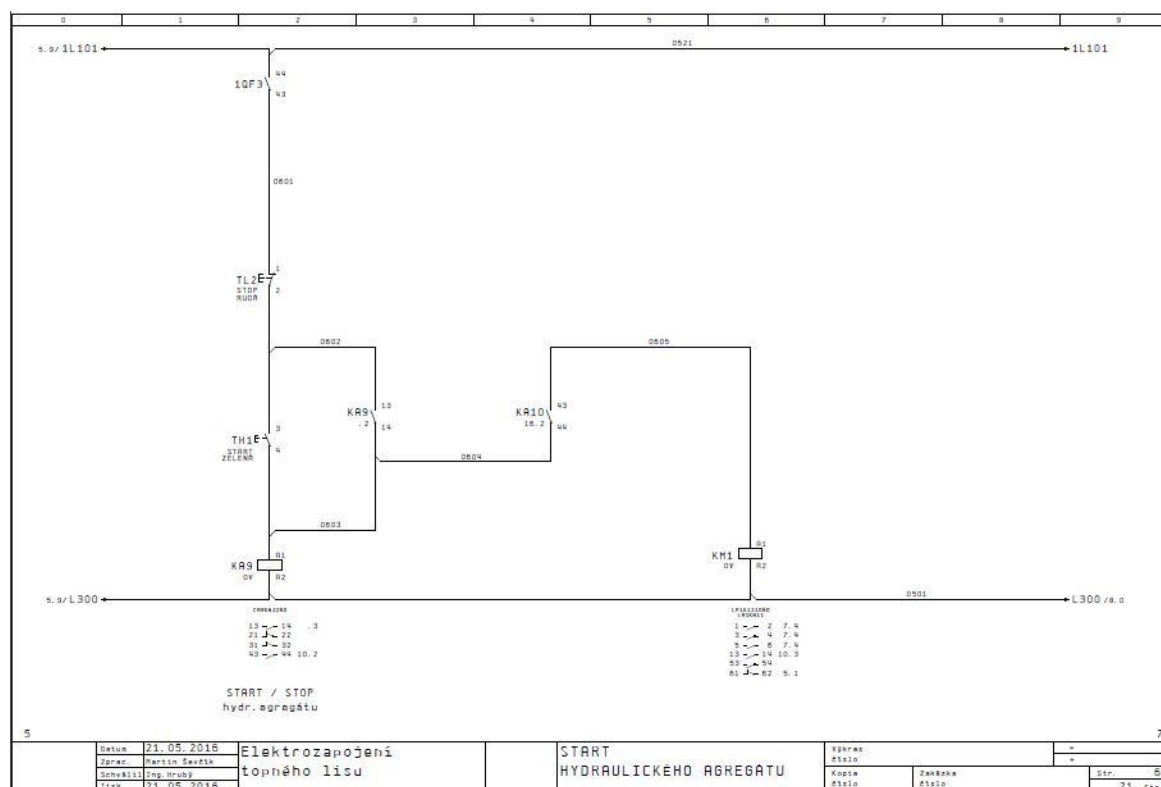
Obr. 5.3-5: Tlačítko nouzového zastavení se štítkem

Velice často používaným bezpečnostním prvkem je **obouruční ovládání**. Jde o dvě tlačítka, která jsou umístěna na podstavci definovaného tvaru v určité vzdálenosti od stroje, aby nebyla obsluha schopna mít při spuštění (někdy i za běhu) stroje končetiny mezi deskami lisu. Pro spuštění stroje je nutné zmáčknout obě tlačítka zároveň (ve velmi krátkém časovém intervalu po sobě). V tomto případě je však použita optická zábrana, a proto dvouruční ovladač u tohoto konkrétního lisu už není potřeba.

¹ Označení tlačítka je často uvedeno v anglickém jazyce jako „TOTAL STOP“ nebo „EMERGENCY STOP“.

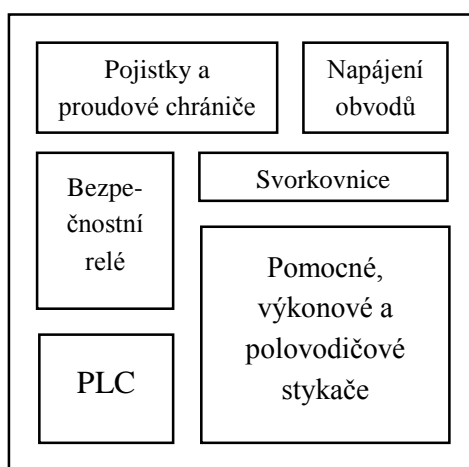
5.4 Návrh elektrického zapojení

Návrh zapojení vychází z konfigurace PLC a HMI a elektrických prvků navržených v této kapitole. Zpracování návrhu bylo řešeno v programu ePLAN 5, jedná se o starší software pro návrh elektrické konfigurace prvků, který byl nahrazen programem ePLAN P8. Elektrické zapojení má dvacet stran, proto je zde uveden pouze jedna strana jako příklad a zbytek je zpracován v příloze č. 2.



Obr. 5.4-1: Ukázka elektrického zapojení lisu s topnými deskami - Start HA

V pokročilejších programech je možnost navrhnutí i rozložení elektrických prvků v rozvaděči. ePLAN 5 však tuto funkci nemá, a proto je tento návrh proveden pouze schematicky.



Obr. 5.4-2: Rozložení elektrických komponent v rozvaděči

6 Ověření funkčnosti navrženého řídicího systému na reálném modelu nebo simulovaném zařízení (lisu)

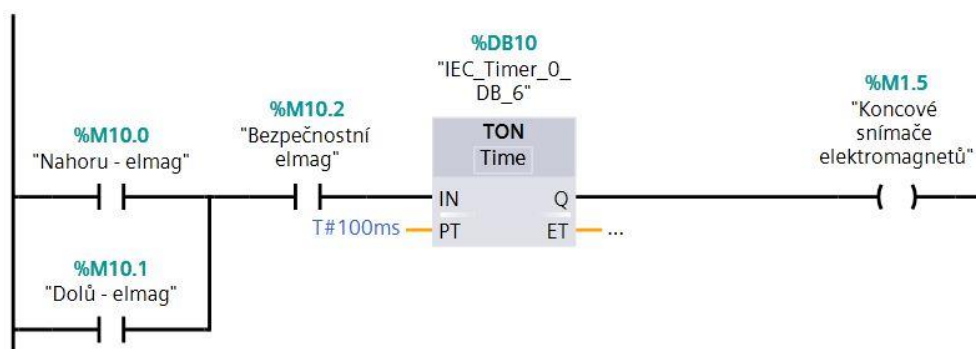
Jelikož reálný stroj není prozatím k dispozici, byl v program TIA portal vytvořena funkce, která do značné míry simuluje chování systému. Kvůli tomu musel být řídicí program změněn a pro jeho nasezení k řízení reálného lisu s topnými deskami by bylo potřeba změny vrátit zpět.

Jednou z provedených změn bylo přepsání všech vstupních a výstupních adres na adresy ve vnitřní paměti PLC, adresy vstupů a výstupů, včetně korespondujících adres vnitřní paměti jsou zaznamenány v příloze č.1. Tato změna výrazně usnadňuje práci s hodnotami na těchto adresách při simulaci systému, ovšem pro řízení reálného modelu bude potřeba u všech hodnot z tabulky vstupů a výstupů, nahradit “Adresy v simulaci” za “Adresy v PLC” (viz příloha č.1).

6.1 Simulovaný systém

Jedná se o blok funkce s názvem „Simulace systému“, který zpracovává virtuální výstupy z PLC a reaguje na ně virtuálními vstupními hodnotami do PLC.

Simulovány jsou vstupy od pomocných kontaktů stykačů, u některých je dokonce simulována i časová prodleva při sepnutí. Dále jsou nasimulovány vstupy od koncových poloh elektromagnetů ventilů, které tvoří programovou bezpečnost a při jejich nesepnutí do určitého času hlásí PLC poruchu. Nakonec je simulován ohřev topných desek. K jejich simulaci je využito dvou časovačů a dvou čítačů, které počítají, kolik pulsů o délce dvěšest milisekund je na virtuálním výstupu PID regulátoru tvořeného pulzně šířkovou modulací v jedničce a kolik v nule. Poté hodnotu z čítače, kolikrát byl puls v jedničce, k výsledné teplotě desky přičítá a hodnotu z čítače, kolikrát byl puls v nule, od výsledné teploty odečítá. Aby simulace co nejvíce odpovídala realitě, tak je počet pulsů ještě dělen konstantou, aby byl růst teploty pomalejší. Pro počet jedničkových pulsů je tato konstanta 30 a pro počet nulových pulsů je 150. Chladnutí desky tedy v simulaci probíhá pětikrát pomaleji, než její nahřívání.



Obr. 6.1-1: Simulace sepnutí koncových snímačů ventilů

Při prodloužení časové prodlevy mezi příkazem pro sepnutí elektromagnetů ventilů a zpětnou vazbou z jejich snímačů by PLC hlásilo poruchu.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout elektrické zapojení a řízení lisu s topnými deskami s respektováním požadavků technologie procesu a bezpečnostních norem. K tomu bylo nutné navrhnout odpovídající hardware a software řídicího systému. Dalším úkolem bylo navrhnout elektrické komponenty pro řízení lisu a PID regulátor pro regulaci teploty topných desek a na závěr ještě řídicí algoritmus otestovat na simulovaném systému.

V první kapitole byl popsán hydraulický lis, jeho obecné funkce a komponenty jeho řídicího systému. Další dvě kapitoly obsahují návrh konfigurace programovatelného logického automatu a dotykového panelu a popis řešení řídicího programu jak pro PLC, tak i pro HMI. Čtvrtá kapitola se zabývá identifikací soustavy, kterou tvoří elektricky vytápěná topná deska, a výpočtem PID regulátoru z parametrů soustavy. V páté kapitole byly popsány hlavní elektrické komponenty, včetně použitých snímačů a bezpečnostních modulů a bylo vytvořeno jejich kompletní elektrozapojení. V poslední kapitole byl pak proveden popis simulovaného systému, na kterém byla testována a ověřena funkčnost vytvořeného řídicího algoritmu.

Řídicí algoritmus je do značné míry zjednodušený, ale v simulovaných situacích fungoval bez chyby. Pro jeho reálné nasazení by bylo vhodné vložit do něj receptury, čímž by se urychlilo a usnadnilo nastavení parametrů lisování. Další oblastí v programu, na kterou by bylo potřeba se zaměřit, jsou všechna chybová hlášení, která bude potřeba zpracovat a popsat odstranění příčiny jejich vzniku.

V průběhu práce jsem se podrobně seznámil se základními funkcemi hydraulických lisů vybavených topnými deskami, jejich elektrickým zapojením a řízením. Všechny tyto poznatky byly použity při zpracování mé bakalářské práce.

Tato práce by mohla být dobrým základem pro návrh sofistikovanějšího řešení řízení a regulace lisu s topnými deskami. Jednou z potenciálních možností by mohla být náhrada „černobílých“ hydraulických ventilů za proporcionální. To by umožnilo plynulou regulaci rychlosti pohybu a tlaku (resp. síly) beranu lisu. Pro přesnější regulaci teploty desek by pak bylo vhodné rozdělit je na více zón a v těch regulovat teplotu samostatně.

Seznam použitých zdrojů

[1] *S7-1200 V4 a STEP 7 V13* [online]. 2014 [cit. 2016-02-28].

Dostupné z: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IADT/tia_na_dosah/Documents/2014_zari/TIA_1200.pdf

[2] Řídicí systém Simatic S7-1200. *Řídicí systém Simatic S7-1200* [online]. 2015 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z:

<http://www1.siemens.cz/ad/current/?vw=0&ctxnh=5dc8474325&ctxp=home&acceptcookies=true>

[3] *SIMATIC S7-1200: SIMATIC Controller* [online]. [cit. 2016-03-10].

Dostupné z: http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/automatizacni_systemy/mikrosystemy/simatic_s71200/s7-1200_2015_cz.pdf

[4] CPU 1214C. *SIEMENS Industry Mall* [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>

[5] ANALOG INPUT SB 1231. *SIEMENS Industry Mall* [online]. [cit. 2016-03-10].

Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6ES7231-4HA30-0XB0>

[6] DIGITAL I/O SM 1223. *SIEMENS Industry Mall* [online]. [cit. 2016-03-10].

Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6ES7223-1BL32-0XB0>

[7] COMPACT SWITCH MODULE CSM 1277 CONNECTION SIMATIC S7-1200.

SIEMENS Industry Mall [online]. [cit. 2016-03-10].

Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6GK7277-1AA10-0AA0>

[8] SIMATIC HMI KTP600 BASIC MONO PN. *SIEMENS Industry Mall* [online]. [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6AV6647-0AB11-3AX0>

[9] Ing. Petr BLAHA, PhD. a Prof. Ing. Petr VAVŘÍN, DRSC., *Řízení a regulace I: Základy regulace lineárních systémů - spojité a diskrétní*, Brno [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxyaXplbmhcmVndWxhY2UxfGd4OjYxNTNIYmM0NTJjYmViZTE>

[10] doc. Ing. Petr BLAHA, PhD., *Neparametrické metody identifikace*, Brno: 20. září 2014 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxtb2RlbG92YW5pYWlkZW50aWZpa2FjZXxneDo5YWYyZTY0ZjhmY2M1NTA>

[11] Elektromotor SIEMENS 1LE1002-1AB4, 2.2kW, 1425ot. *Elektromotory Moravec* [online]. [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.elektromotory.net/siemens/1la7-1500-otacek/1le1001-4-1-1.html>

[12] GZ1E10 Jistič motorový TVS 4-6,3A s nadpr.a zkrat.ochr. *VOGEL electric* [online]. [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: <http://www.elektrotechnika-shop.cz/gz1e10-jistic-motorovy-tvs-4-63a-s-nadpra-zkratochr>

[13] Evolution spinany zdroj, 3fazovy. *Murr elektronik* [online]. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: <http://shop.murrelektronik.cz/cs/Elektronika-v-rozvad-i/Nap-jen-DC/Evolution-spinany-zdroj-3fazovy-85001.html?listtype=search&searchparam=Evolution%2024VDC%20F10A&src=search&srchPage=1&perPage=10&pos=2>

[14] Tlakový senzor PX3980. *Ifm* [online]. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: <http://www.ifm.com/products/cz/ds/PX3980.htm>

[15] VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ, FEI. *Stykače* [online]. Ostrava, [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat430/old/Studium/Materialy/VS/kap34.pdf>

[16] CELDUC SU963460 SSR, 35A. *Farnell element14* [online]. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/celduc/su963460/ssr-35a/dp/1659375>

[17] IPS-18 indukční snímač M18x1, kabel 1,5m. *CNC a automatizace* [online]. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/ips-18-indukcni-snimac-m18x1-kabel-1-5m>

- [18] *REGMET: Převodníky teplota - napětí a odpor - napětí* [online]. [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.regmet.cz/download/kataloglisty/ru.pdf>
- [19] ČSN EN 62061 - Bezpečnost strojních zařízení - Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností
- [20] Schémata, nebo programy? *AUTOMA: časopis pro automatizační techniku* [online]. číslo 01. 2010 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://automa.cz/schemata-nebo-programy-40393.html>
- [21] STIBOR, Karel. ROCKWELL AUTOMATION. *Solution Architect Safety* [online]. 2015 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=97766
- [22] PNOZ s3 24VDC 2 n/o PILZ-Bezpečnostní relé. *ELJAPO* [online]. [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://www.eljapo.eu/produkty/Bezpecnostni-kompone/Bezpecnostni-releove/750103-PNOZ-s3-24VDC/1614>
- [23] TEST - Základní bezpečnostní světelné závěsy Leuze MLC510-600. *Automatizace.hw.cz* [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju-komponenty/test-zakladni-bezpecnostni-svetelne-zavesy-leuze-mlc510-600.html>
- [24] Bezpečnostní reléové moduly UE48-2OS. *SICK sensor intelligence* [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/sens-control-bezpecnostni-ridici-systemy/bezpecnostni-releove-moduly/ue48-2os/ue48-2os2d2/p/p23292>
- [25] MTR 12 - kabelové odporové snímače teploty. *Mavis* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.mavis.cz/produkty/odporovy-snimac-teploty-kabelovy-mtr-12>
- [26] PRESSHYDRAULIKA, s.r.o.: *Firemní materiály a konzultace*, Opava

Seznam použitých obrázků

Obr. 1.1-1: Hydraulický lis.....	10
Obr. 2.1-1: Zařazení PLC řady S7-1200 [2].....	13
Obr. 2.1-2: Modul CPU 1214C [4].....	14
Obr. 2.1-3: Karta analogového vstupu SB 1231 [5].....	15
Obr. 2.1-4: Karta digitálních vstupů a výstupů SM 1223 [6].....	15
Obr. 2.1-5: Modul CSM 1277 – SWITCH [7]	16
Obr. 2.2-1: Panel SIMATIC HMI KTP600 BASIC [8]	17
Obr. 3.3-1: Programové bloky.....	20
Obr. 3.3-2: Použité programové bloky	21
Obr. 3.3-3: Část programu v hlavním funkčním bloku	21
Obr. 3.4-1: Hierarchie oken.....	23
Obr. 3.5-1: Hlavní obrazovka.....	24
Obr. 3.5-2: Ovládání.....	24
Obr. 3.5-3: Nastavení parametrů	25
Obr. 3.5-4: Vizualizace	25
Obr. 3.5-5: Poruchy	26
Obr. 4.2-1: Zapojení PID regulátoru ve zpětnovazební smyčce.....	28
Obr. 4.2-2: Schéma PID regulátoru.....	28
Obr. 4.3-1: Odezva systému na jednotkový skok.....	30
Obr. 4.3-2: Identifikace systému druhého řádu [10]	31
Obr. 4.4-1: Konfigurace parametrů PID regulátoru	34
Obr. 4.5-1: Schéma regulátoru PID_Compact	36
Obr. 4.5-2: Blok regulátoru PID_Compact v programu TIA portal.....	36
Obr. 4.5-3: Parametry PID regulátoru v programu TIA portal.....	38
Obr. 5.2-1: Asynchronní motor od firmy Siemens [11]	41
Obr. 5.2-2: Motorový spouštěč od firmy Schneider [12]	41
Obr. 5.2-3: Napájecí zdroj 24VDC od firmy Murr elec. [13]	41
Obr. 5.2-4: Polovodičový stykač [16]	42
Obr. 5.2-5: Tlakový snímač [14]	42
Obr. 5.2-6: Teplotní snímač [25].....	42
Obr. 5.2-7: Převodník teploty (odporu) na napětí [18].....	43
Obr. 5.2-8: Indukční snímač [17]	43
Obr. 5.3-1: PLC bez bezpečnostních prvků.....	44
Obr. 5.3-2: PLC s bezpečnostními prvky	44
Obr. 5.3-3: Optická zábrana [23].....	45
Obr. 5.3-4: Modul optické zábrany [22].....	45
Obr. 5.3-5: Tlačítko nouzového zastavení se štítkem.....	46
Obr. 5.3-6: Bezpečnostní relé [24]	46
Obr. 5.4-1: Ukázka elektrického zapojení lisu s topnými deskami - Start HA	47
Obr. 5.4-2: Rozložení elektrických komponent v rozvaděči.....	47
Obr. 6.1-1: Simulace sepnutí koncových snímačů ventilů	48

Seznam použitých tabulek

Tab. 4-1: Odezva na jednotkový skok.....	30
Tab. 4-2: Určení řádu systému [10]	32
Tab. 4-3: Hlavní parametry bloku regulátoru PID_Compact v programu TIA portal	37
Tab. 4-4: Přehled pracovních módů bloku regulátoru PID_Compact v programu TIA portal	37

Seznam použitých zkratek

PG – *Programmiergeräte* (Programovací zařízení)

HMI – *Human Machine Interface* (Uživatelské rozhraní)

PLC - *Programmable Logic Controller* (Programovatelný logický automat)

CPU - *Central processing unit* (Centrální procesorová jednotka)

DI – *Digital input* (Digitální vstupy)

DO – *Digital output* (Digitální výstupy)

AI – *Analog input* (Analogové vstupy)

AO - *Analog output* (Analogové výstupy)

MNV – Modul nouzového vypnutí

EO – Elektrické ovládání

Seznam příloh

Příloha 1: Tabulka vstupů a výstupů PLC

Příloha 2: Elektrozapojení lisu s topnými deskami

Příloha 3: CD - obsahuje: Elektrozapojení a řízení lisu s topnými deskami.pdf
 Tabulka vstupů a výstupů PLC.pdf
 Elektrozapojení lisu s topnými deskami.pdf
 Program pro řízení lisu s topnými deskami.zip